

Магістерська дисертація

на тему: Витратомір сипких матеріалів

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК
(підпис)

“ ” _____ 2020 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології проектування приладів»

зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно - інтегровані технології

на тему: Витратомір сипких матеріалів

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-91мп
(шифр групи)

Мартинюк Євгеній Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: старший викладач Зайцев В.М

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРИЗВЕЩЕ)

(підпис)

Консультант: Розробка СТАРТАП-проекту,

доцент доктор економічних наук Бояринова К.О.

(підпис)

Рецензент Головний конструктор АТЗТ «УКРВЕСКОМ» Коломієць Ю.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Власне ім'я ,ПРИЗВЕЩЕ)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма Комп'ютерно-інтегровані технології
проектування приладів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Юрій КИРИЧУК

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Мартинюк Євгеній Валерійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Витратомір сипких матеріалів
науковий керівник дисертації Зайцев Віктор Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « 05 » листопада 2020р. № 3228

2. Строк подання студентом дисертації _____ 11 грудня 2020 р.

3. Перелік завдань, які потрібно розробити

3.1. Обґрунтування необхідності розробки витратомірів та лічильників сипких матеріалів на основі критичного огляду існуючих аналогів;

3.2. Порівняння математичних моделей тахометричних витратомірів газу, рідини та сипких матеріалів; 3.3. Проведення порівняльних

експериментальних досліджень витратоміра тахометричного типу при вимірюванні кількості газу (повітря), рідини (гаряча вода) та сипкого

матеріалу (піску); 3.4. Обробка результатів експериментальних досліджень та висновки по адекватності математичних моделей.

4. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу 4.1. Складальний кресленик лічильника-витратоміра. 4.2. Листи математичних моделей тахометричних лічильників витратомірів. 4.3. Листи схем існуючих аналогів – систем вимірювання кількості сипких матеріалів; 4.4. Експериментальні установкислідження характеристик витратомірів. 4.5. Листи результатів експериментальних досліджень (графічні залежності)

5. Орієнтовний перелік публікацій 5.1. Математична модель тахометричного лічильника-витратоміра сипких матеріалів;

6. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка СТАРТАП-проекту	Бояринова К.О.		

7. Дата видачі завдання 5 листопада 2020 р.

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	Огляд технічної та нормативної літератури за темою	30.10.20 – 10.11.20	
2	Розробка математичної моделі тахометричного витратоміра сипких матеріалів	08.11.20 – 16.11.20	
3	Розробка експериментальної установки дослідження характеристик витратоміра при вимірюванні кількості повітря	14.11.20 – 20.11.20	
4	Розробка експериментальної установки дослідження характеристик витратоміра при вимірюванні кількості сипкого матеріалу	15.11.20 – 30.11.20	
5	Проведення експериментальних досліджень тахометричного витратоміра	14.11.20 – 06.12.20	
6	Аналіз отриманих результатів	27.11.20 – 06.12.20	
7	Оформлення МД та її графічної частини	20.11.20 – 09.12.20	
8	Передача МД на перевірку науковому керівнику	10.12.2020 р.	
9	Представити МД на рецензію	12.12.2020 р.	
10	Представити МД до екзаменаційної комісії НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»	15.12.2020 р.	

Студент

(підпис)

Євгеній МАРТИНЮК

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Віктор ЗАЙЦЕВ

РЕФЕРАТ

Актуальність

На даний момент вимірюванню витрати сипучих матеріалів приділяється значно менше уваги ніж вимірюванню витрати рідин та газів. В наслідок цього досить гостро стоїть питання обліку витрат сипучих матеріалів в таких сферах як харчова промисловість(наприклад перетворення зерна в борошно), металургія (наприклад при виготовленні сталі). Тому дана тема є актуальною для задоволення потреб технологічного процесу.

Об'єктом дослідження даної роботи є витратомір сипких матеріалів заснований на тахометричному методі вимірювання.

Магістерська дисертація складається з пояснювальної записки, що містить вступ, 4 розділи, список літератури, 48 малюнків , 30 таблиць. Загальний обсяг 128 сторінок. Також до магістрської дисертації входить графічна частина, що містить 2 аркуші А1 графіків, 2 аркуші А1 схем, 1 А1 складальних креслень та презентаційний лист.

Ключові слова: витратомір, витрата сипких матеріалів.

					МД.ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Витратомір сипких матеріалів Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Мартинюк						
Перевір.								
Реценз.						ПБФ, КПІ		
Н. Контр.								
Затверд.		Зайцев						

SUMMARY

Actuality

At present, much less attention is paid to measuring the flow of bulk materials than to measuring the flow of liquids and gases. As a result, the issue of accounting for the cost of bulk materials in such areas as the food industry (eg, conversion of grain into flour), metallurgy (eg in the manufacture of steel) is quite acute. Therefore, this topic is urgent to meet the needs of the technological process.

The subject of study of this work is a flow meter of bulk materials based on the tachometric method of measurement.

The master's dissertation consists of an explanatory note containing an introduction, 4 sections, a list of references, 48 figures, 30 tables. The total volume is 128 pages. The master's dissertation also includes a graphic part containing 2 sheets of A1 graphs, 2 sheets of A1 diagrams, 1 A1 of assembly drawings and a presentation sheet.

Key words: flow meter, consumption of bulk materials.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

ЗМІСТ

Перелік термінів, умовних позначень, скорочень.....	10
ВСТУП.....	11
1.ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ	12
1.1.Вагові(масові) методи вимірювання.....	13
1.2.Гідродинамічні методи вимірювання	15
1.3.Тахометричний метод	17
1.4.Інші методи які не знайшли застосування.....	20
1.4.1 Метод Коріоліса.....	20
1.4.2.Лоткові і вібрлоткові витратоміри.....	23
1.4.3.Стрічковий метод.....	25
1.4.4.Витратоміри, засновані на визначенні геометричних та електричних параметрів потоку.....	27
1.4.5.Вихоровий метод.....	29
1.4.6.Ультразвуковий метод.....	32
2. РОЗРОБКА ТАХОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА З АКСІАЛЬНОЮ ТУРБІНОЮ.....	37
2.1.Визначення осьового навантаження.....	42
2.2.Вибір підшипників.....	46
2.3.Розрахунок індукційного перетворювача.....	47
2.4.Визначення швидкості обертання ротора.....	53
2.4.Визначення похибок.....	54
3.ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	57

3.1.Опис експериментальної установки.....	57
3.2. Експериментальні дослідження.....	63
4.РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	74
4.1.Опис ідеї проекту.....	74
4.2.Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	77
4.3.Розробка ринкової стратегії проекту.....	83
4.4.Розробка маркетингової програми стартап-проекту.....	86
Висновки.....	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	90
Література.....	92
Додатки.....	94

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Перелік термінів умовних позначень, скорочень

Q – витрата.

$Q_{\text{сер}}$ – середнє значення витрати.

t – час

$P_{\text{рух}}$ – Тиск під яким пухається сипкий матеріал.

$T_{\text{пр}}$ – період подачі матеріалу.

$S_{\text{пр}}$ - площа поперечного перерізу трубопроводу

ρ - густина

V - швидкість потоку

$S_{\text{то}}$ – площе тіла обтікання

$W_{\text{пс}}(p)$ – передаточна функція перетворювача сили

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

D - діаметр

λ - коефіцієнт супротиву тертя одиниці довжини каналу.

S_0 – поверхня тертя каналу .

F_0 – площа поперечного перерізу каналу.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Вступ

На сьогодні використання сипких матеріалів є дуже поширеним в технологічному процесі. Як правило сипкі матеріали широко використовуються у таких галузях як харчова та хімічна промисловості, металургія. Наприклад при виготовленні металу на металургійному заводі в ході технологічного процесу необхідне дозування сипких матеріалів при десульфурації чугуна. І проблема вимірювання витрати сипких матеріалів у даному випадку є ключовою, адже при недостатній кількості компонентів з чугуна неможливо прибрати сіру. Проте сучасна витратометрія більш зосереджена на вимірювання рідини та газів, адже це є важливим для населення. Тому метою даної дисертації є розробка витратоміра сипких матеріалів для задоволення потреб технологічного процесу та ефективного використання сипких матеріалів.

					МД.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ СІПКИХ МАТЕРІАЛІВ

Загальна схема системи стабілізації сипких матеріалів у потоці зображена на рис 1.1

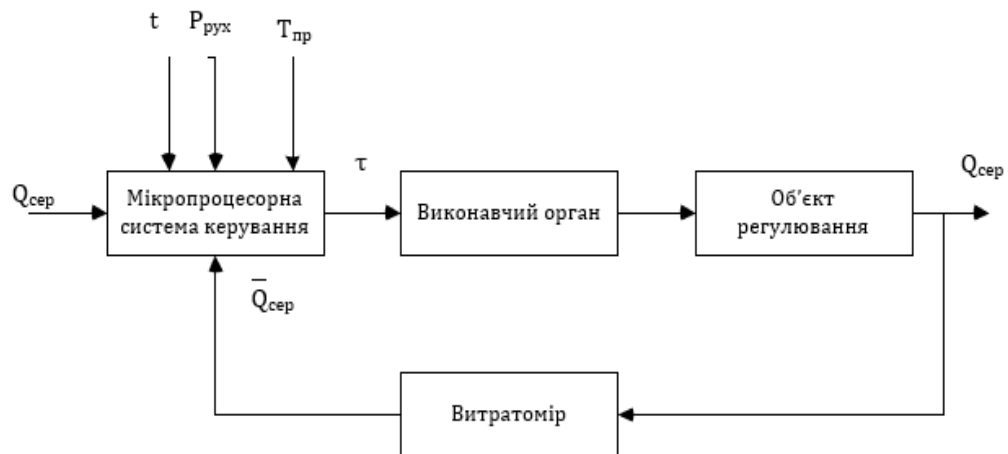


Рисунок 1.1 Загальна схема системи стабілізації сипких матеріалів у потоці

Де

$Q_{сер}$ – середнє значення витрати.

t – час подачі матеріалу.

$P_{рух}$ – Тиск під яким пухається сипкий матеріал.

$T_{пр}$ – період подачі матеріалу.

На вхід системи сипкий матеріал подається порційно: в деякий момент часу матеріал починає подаватися в систему, збільшується тиск та кількість матеріалу. Далі тиск зменшується і в дефський момент часу подача матеріалу припиняється. Графік подачі матеріалу можна побачити на графіку (рис 1.2).

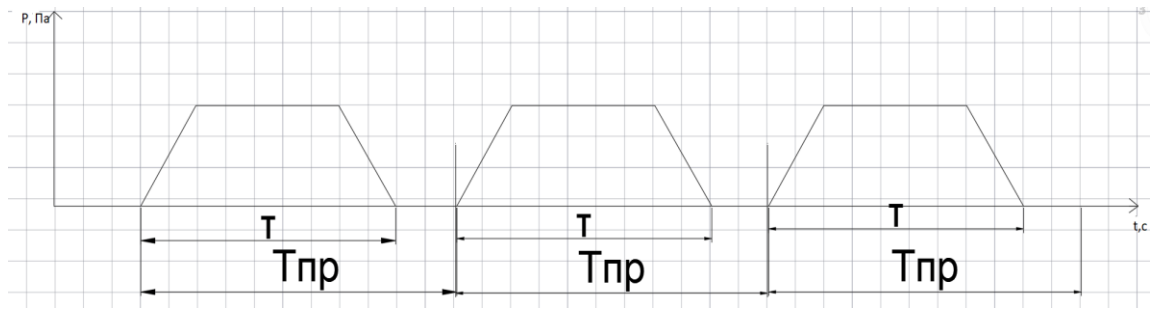


Рис 1.2 Графік подачі матеріалу в систему.

Для вимірювання витрати сипучих матеріалів в основному використовують такі методи:

- Вагові(масові) методи вимірювання.
- Гідродинамічні методи.

Також існують інші методи вимірювання пороте вони не знайшли застосування

- Ультразвуковий
- Коріолісовий .
- Лоткові і вібрлоткові.
- Стрічковий.
- Вихоровий
- Методи, засновані на визначенні геометричних та електричних параметрів потоку.

Також в данній роботі пропонується застосування тахометричного методу для вимірювання витрат сипких матеріалів

1.1 Вагові(масові) методи вимірювання

Структурна схема системи з ваговим (масовим) методом вимірювання зображена на рис 1.3

					МД.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

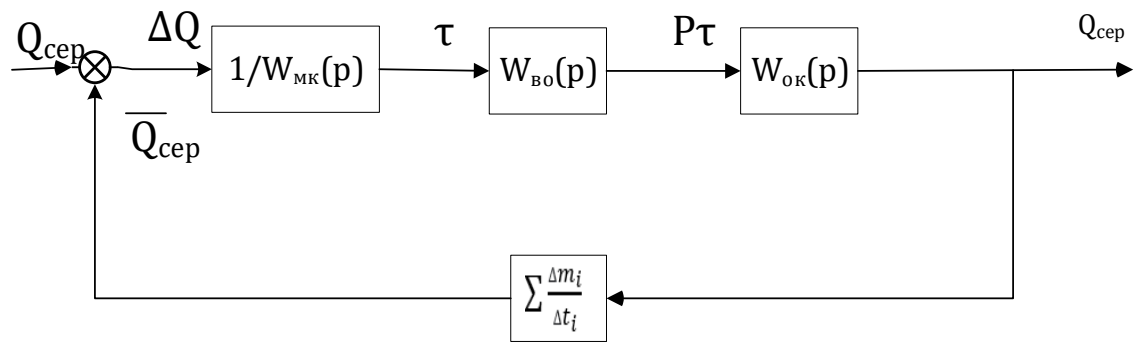


Рисунок 1.3 Структурна схема вагового(масового) методу вимірювання

Де

$W_{mk}(p)$ – передаточна функція мікропроцесорної системи керування.

$W_{bo}(p)$ – передаточна функція виконавчого органу .

$W_{ok}(p)$ – передатонча функція об'єкту керування.

$\Sigma \frac{\Delta m_i}{\Delta t_i}$ – передаточна функція системи вимірювання ваги.

Ваговий метод заснований на зважуванні сипкого матеріалу в бунері. Бункер в який під тиском потрапляє сипучий матеріал розміжений на вагах. Ваги в більшості випадків являють собою 3 тензодатчика. Схема установки для вимірювання витрати ваговим методом зображена на рис 1.4

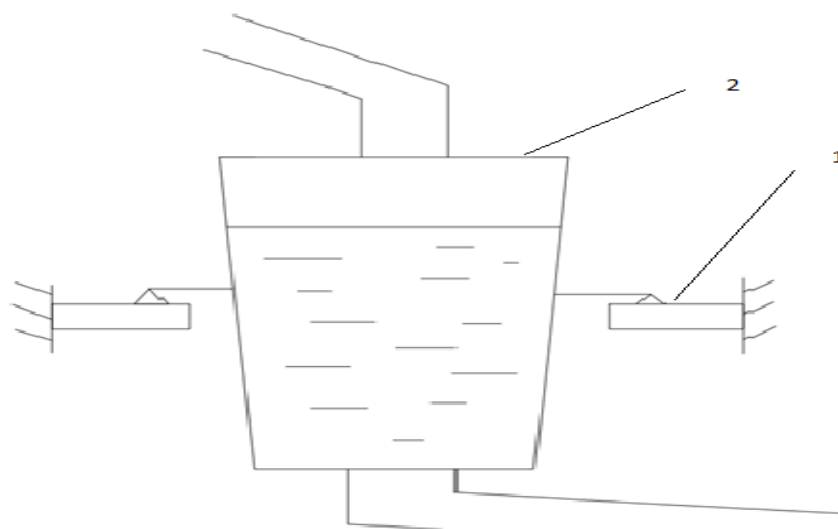


Рисунок 1.4 Схема установки для вимірювання витрати ваговим методом

На схемі:

1- Тензодатчик.

2- Бункер.

1.2. Гідродинамічні методи вимірювання

Гідродинамічні методи вимірювання базуються на вимірюванні сили що спричиняє потік в русі. На рис 1.5 зображена схема гідродинамічного методу

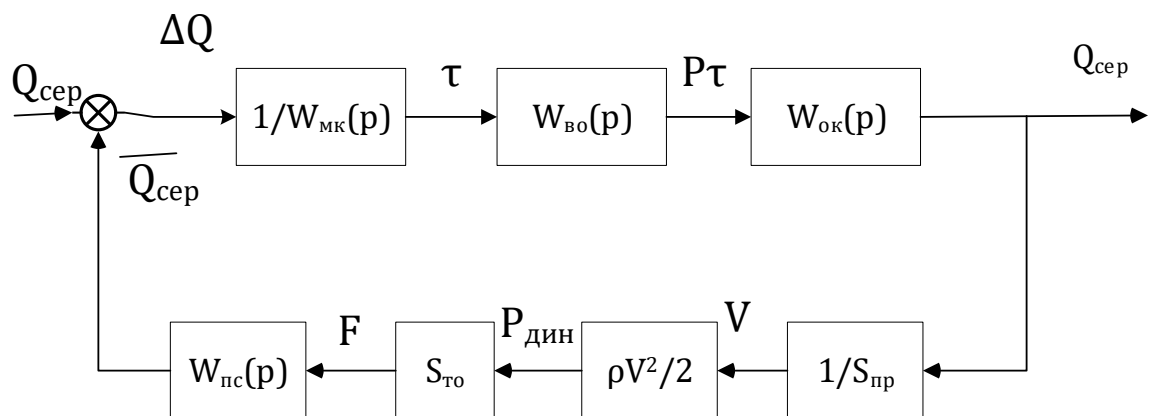


Рисунок 1.5 Схема гідродинамічного методу вимірювання

Де

$S_{пр}$ - площа поперечного перерізу трубопроводу

ρ - густина, V - швидкість потоку

$S_{то}$ – площа тіла обтікання

$W_{пс}(p)$ – передаточна функція перетворювача сили

Прикладом приладу гідродинамічного методу вимірювання є поплавково-пружинні витратоміри.

Поплавково-пружинний витратомір – витратомір в якому поплавок або поршень з'єднаний з пружиною. В даному витратомірі тиск вимірюваного середовища повинен подолати не тільки вагу тіла а і пружність пружини. Поплавково-пружинний витратоміри зображені на рис 1.6 та рис 1.7 [1]

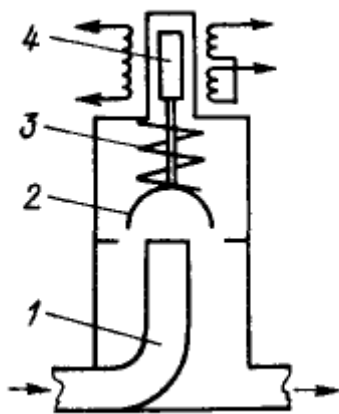


Рисунок 1.6 Схема поплавково-пружинного витратоміра за верхньою пружиною

Вимірюване середовище протікає по трубі 1 і піднімає дзвін напівсферичної форми 2 який виконує роль поплавка. Дзвін навантажений пружиною 3 і переміщує сердечник 4 диференціально-трансформаторної передачі.[1]

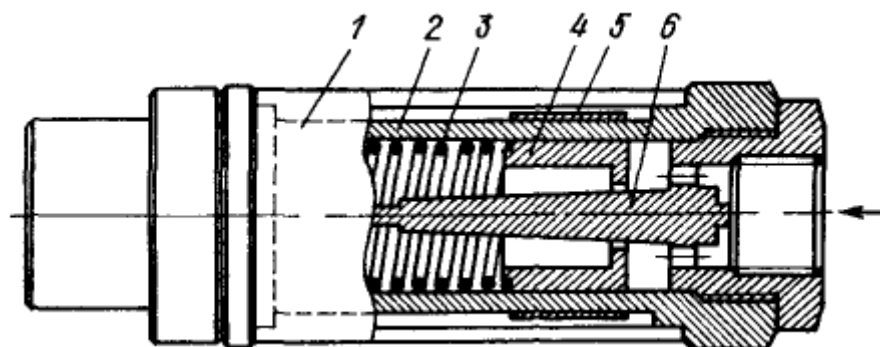


Рисунок 1.7 Поплавково-пружинний витратомір

В іншому витратомірі (рис 1.7) рухливий елемент – звужуючий пристрій типу сопла закріплене в середині сільфона. Останній виконує роль осьової пружини і одночасно герметично з'єднує частини труби що відводяться і приводяться зовні якої розміщений індукційний перетворювач. Його сердечник зв'язаний з сільфоном і перетворює переміщення останнього у вихідний

сигнал. Рухливий елемент – поршень 4, навантажений пружиною 3 . В середині знаходиться нерухомий стержень 6, профіль якого дозволяє отримати бажану залежність між витратою і переміщенням поршня. В середині останнього знаходиться циліндричний магніт який викликає переміщення вказівника витрати 5. Витратомір простий та компактний але його похибка складає $\pm 4\%$ [1]

Переваги:

- Простота.
- Великий діапазон вимірювання.
- Надійність.

Недоліки:

- Зменшення тиску на виході.
- Низька точність.

1.3.Тахометричний метод

Тахометричний метод заснований на вимірюванні швидкості обертання турбіни, лопасті будь якого іншого елемента, яка залежить від дії потоку рідини або рідини(рис 1.7).

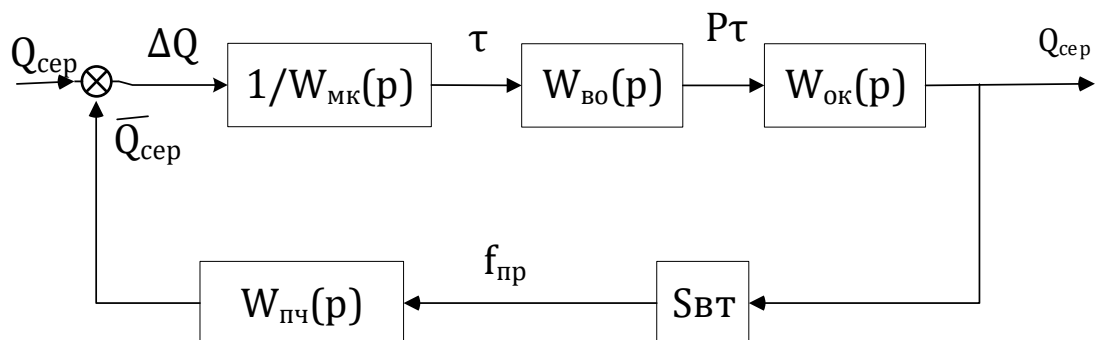


Рисунок 1.8 Схема тахометричного методу вимірювання

Де

$S_{вт}$ – чутливість тахометричного витратоміра

$W_{пч}(p)$ – передаточна функція перетворювача частоти.

$f_{\text{пр}}$ – частота обертання турбіни витратоміра

Для створення тахометричного витратоміра швидкість руху чутливого елемента необхідно попередньо перетворити в сигнал пропорційний витраті і зручний для вимірювання. В цьому випадку необхідний двоступеневий перетворювач витрати. Його перша частина – турбіна, кулька або інший елемент швидкість якого пропорційна об'ємній витраті, а друга частина – тахометричний перетворювач який виробляє вимірюваний сигнал, зазвичай частоту електричних імпульсів, пропорційну швидкості руху тіла. На рис 1.9.а зображена крильчатка аксіального типу гвинтової форми. Вісь крильчатки співпадає з віссю потоку. Приведені крильчатки тангенціального типу з прямим (рис 1.9.б) і ковшовими (рис 1.9.в) лопастями, вісь обертання яких перпендикулярна напрямку потоку. Всі вони як правило встановлюються на вертикальних трубопроводах. [3]

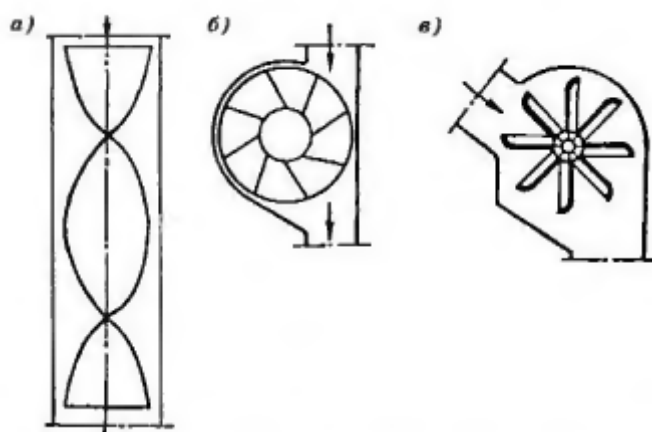


Рисунок 1.9 Крильчатки турбінних витратомірів: а-аксіальна гвинтової форми; б- тангенціальна з прямими лопастями; в- тангенціальна з ковшовими лопастями.

Похибка турбінних витратомірів від 0,5 до 1,5 % в залежності від точності перетворювача. Турбінні тахометричні витратоміри можуть виготовлятися для труб діаметром від 4 до 750 мм. для тисків до 250 МПа і температур від – 240 до +700 градусів Цельсія.[3]

					МД.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Уже багато років мають широке використання лічильники води аксіальна турбіна яких зв'язана з редуктором. В даній роботі поставлено за мету використання схожого витратоміра для сипких матеріалів. На рис 1.10 зображений такий лічильник.[3]

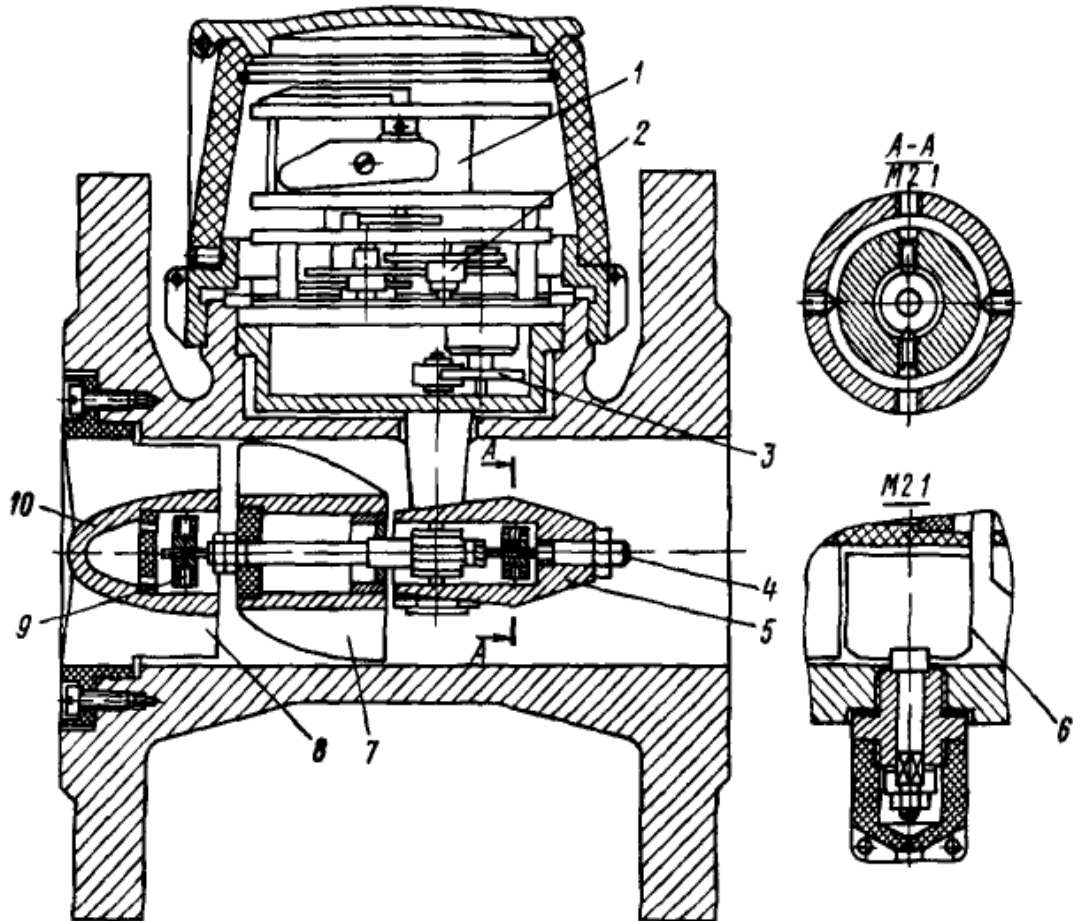


Рис 1.10 Лічильник води з аксіальною турбіною

Вимірюване середовище потрапляє в турбіну 7, проходить через потоковипрямляч 8 в ребрах якого закріплений обтікатель 1 який має передній підшипник 9 осі турбіни. У потоковипрямляча одна з лопастей 6 може повертатися при обертанні регулювального винта, який потім закривається кришкою і пломбується. Задній підшипник разом з упорним, виконаним у вигляді гвинта що регулюється 4 з агатовим наконечником і черв'ячною парою яка передає обертання від турбіни до пари змінних шестерень 3 які знаходяться в середині кронштейна 5. В ньому знаходяться і опори вертикальної осі

черв'ячного колеса. Розміщення цих опор в одній деталі дозволяє усунути биття осі і швидкий знос зубчатих коліс Шестерня 3 обертає магнітну напівмуфту, відділену діамагнітною перегородкою від магнітної напівмуфти з'єднаної з редуктором 2 і через останній з відліковим механізмом 1.[1]

Їх суттєвими перевагами є:

- Швидкодія.
- Висока точність.
- Великий діапазон вимірювання.

Основним недоліком тахометричних витратомірів – знос опор. Також зі збільшенням вязкості речовини діапазон лінійної характеристики зменшується, що виключає їх використання для в'язких рідин.[3]

1.4. Інші методи які не знайшли застосування

1.4.1.Метод Коріоліса

Коріолісовими називаються витратоміри, в перетвореннях яких під дією силового впливу виникає прискорення коріоліса яке залежить від витрати. Для того щоб утворилося прискорення перетворювачу витрати який неперервно обертається надається конфігурація яка змушує потік переміщуватися в радіальному напрямку по відношенню до осі обертання, яка співпадає з віссю трубопровода.

Принципова схема коріолісового витратоміра зображена на рис 1.11.

					МД.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

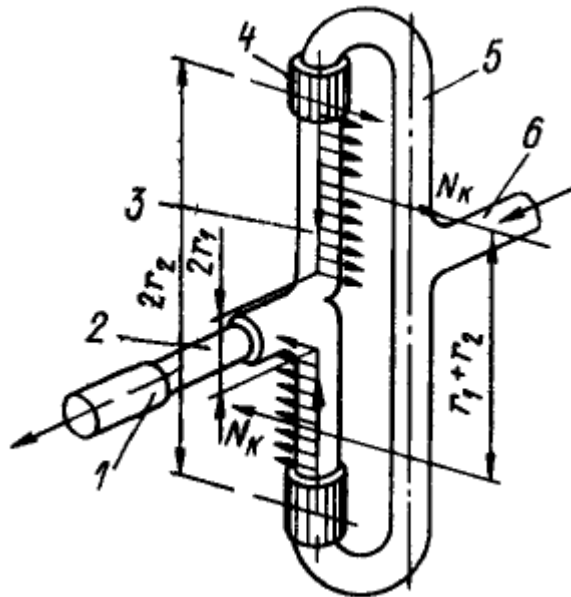


Рисунок.1.11 Принципова схема витратоміра коріоліса

Два трубних штуцера 1 і 6 з допомогою гнучких трубних з'єднань зв'язані з трубопроводом по якому протікає вимірюване середовище. Штуцери з'єднані один з одним металічною втулкою і лежать на шарикопідшипниках. Вони разом з іншою частиною перетворювача витрат обертаються через зубчасту передачу зв'язану зі штуцером 6. Матеріал поступає через штуцер 6. В трубках що обертаються 5 виникає прискорення коріоліса яке створює момент сил прикладених до стінок трубки який направлений проти обертаючого моменту. В трубках 3 зв'язаних еластичними з'єднаннями 4 з трубками 5 прискорення коріоліса має напрям обернений напрямку в трубках 3. Тому до стінок трубок 3 прикладений момент M_n направлений в сторону крутного моменту. Цей момент закручує тонку торсіонну трубку 2 з'єднану з вихідним штуцером 1. Кут закрутки вимірюється з допомогою тензорезисторних перетворювачів.[1]

$$M_u = 2 \int_{r_1}^{r_2} F r a p d r$$

Де :

r – поточний радіус трубки;

r_1 – радіус(середній) на якому закінчується рух вимірюваного середовища в радіальному напрямі;

r_2 – радіус зовнішнього кінця трубки ;

a – прискорення коріоліса ;

ρ – густина ;

F – площа поперечного перерізу;

Витратомір Коріоліса зображений на рис 1.5

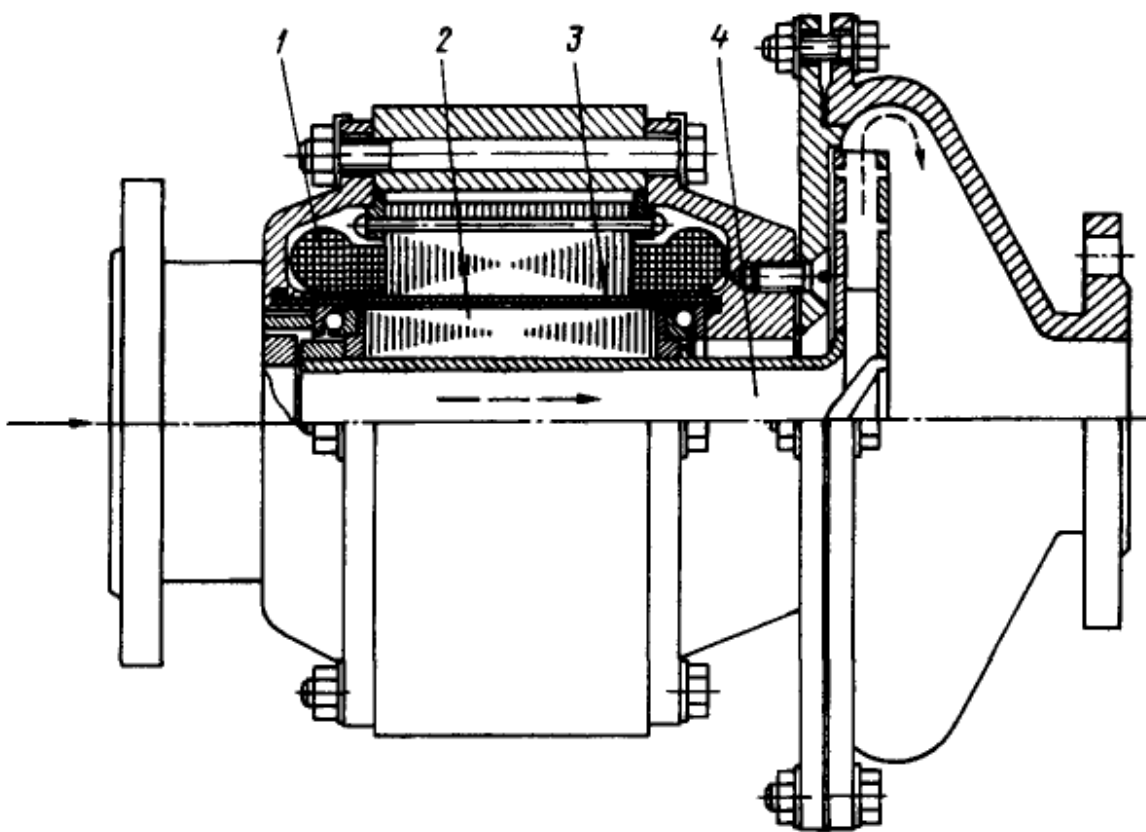


Рисунок 1.12 Витратомір Коріоліса

Переваги:

1. Незалежність від напрямку потоку

					МД.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Прямолінійні ділянки трубопроводу не є необхідними до та після витратоміра
3. Висока точність
4. Довгий строк служби та періоду перекалібрування

Недоліки:

1. Залежність від зовнішніх механічних вібрацій
2. Велика маса та габарити
3. При збільшенні густини матеріалу ефективність приладу різко зменшується

1.4.2.Лоткові і віброткові витратоміри

Вимірювання витрати сипких матеріалів за допомогою лотка полягає в наступному: жорстку пластину (лоток) деякої форми та розмірів поміщають під певним кутом у потік сипучого матеріалу. Сила реакції пластини на вплив потоку прямо пропорційна масовій витраті та продуктивності потоку. Лоток встановлюється на перетворювачі сили (тензодатчики), який закріплено нанерухомій основі. Датчик підключається до вторинного приладу, який показує витрату в натуральних одиницях. Програма, підсумовує витрату за часом, визначає кількість (масу) матеріалу який пройшов, та надає витратоміру додаткову функцію ваг безперервної дії.[8]

Лоткові витратоміри доцільно використовувати в випадку, коли фізико-механічні властивості сипучих матеріалів є стабільними.

Лоткові витратоміри, в основу яких покладена сила тиску потоку сипучого матеріалу, при ударі об плоску перешкоду та сила тиску при ударі потоку із подальшим ковзанням по площині, також можуть бути використані в якості запобіжника витрати, у випадку якщо швидкість і кут падіння мають постійну величину. В зазначених умовах похибка вимірювання витрати становить 4%. Особливістю віброткових витратомірів є наявність

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

віброповерхні для подачі сипких матеріалів. Віб्राції дозволяють як посилювати, так і послаблювати вплив коефіцієнтів тертя на швидкість руху потоку сипкого матеріалу. Через те, що основні параметри потоку залежать від динамічного коефіцієнта тертя, в якості чутливих елементів витратомірів використовувати віброповерхності недоцільно.[8]

З розвитком техніки з'явилися нові вдосконалені лоткові витратоміри сипучих матеріалів, які працюють за принципом поворотного спускного жолоба (рис 1.13)



Рисунок 1.13 Схема лоткового витратоміра

У таких витратомірів потік сипучого матеріалу зрівнюється напрямним жолобом, потім заспокоюється та потім плавно прямує на вигнутий вимірювальний поворотний жолоб. На вимірювальному жолобі сипкий матеріал піддається прискоренню в радіальному напрямку. Реакція вимірювального жолоба яка виникає в результаті визначається датчиком ваги . При цьому похибка знижується до 1-2%.[8]

					МД.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Переваги :

1. Невеликі габарити
2. Висока точність
3. Відсутність частин що обертаються

Недоліки:

1. Неможливість застосування для липких матеріалів
2. Потік що формується не має стабільної форми

1.4.3.Стрічковий метод

Стрічковий метод застосовують в витратомірах, вагах неперервної дії і дозаторах.

Конструкції датчиків стрічкового типу можна розділити на 2 основні групи:

- датчики, вбудовані в існуючі транспортери (рисунок 1.14);
- датчики, виконані у вигляді самостійних коротких транспортерів (Рисунок 1.15).

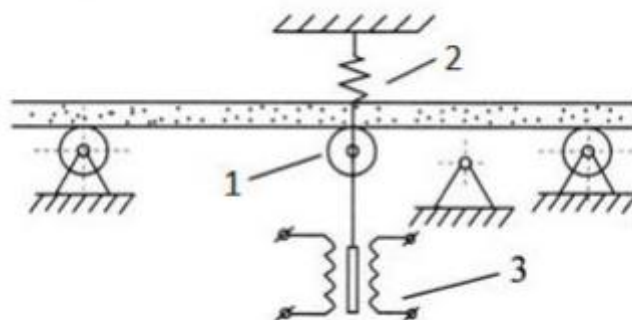


Рисунок 1.14 Схема стрічкового датчика витрати

1- ролик; 2 - врівноважувальна пластина; 3 - вимірюваний елемент

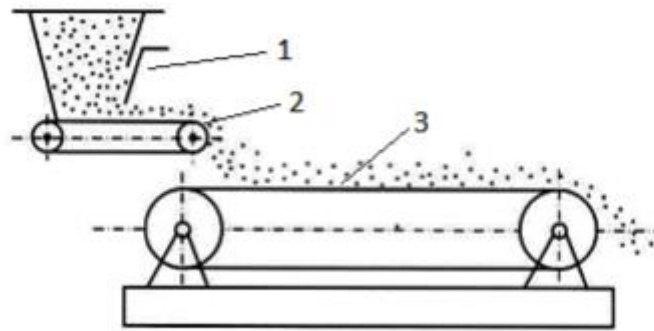


Рисунок 1.15 Схема датчика з коротким транспортером

1-джерело; 2 -транспортер; 3 – платформа

Конвеєрні ваги відносяться до першої групи датчиків. У них сила тиску стрічки з сипким матеріалом на чутливий елемент (ролик, майданчик) є функцією кількості сипучого продукту, яка знаходиться на стрічці транспортера.

Змінними факторами, які впливають на точність вимірювання витрати, є швидкість та натяг стрічки. Масова витрату знаходять як добуток швидкості стрічки на навантаження. При цьому передбачається, що швидкість сипучого матеріалу дорівнює швидкості стрічки та пошаровий рух частинок відсутній. Основний недолік - вплив натягу стрічки та її жорсткості на похибку вимірювання. Широке застосування також отримали датчики витрати, виконані у вигляді короткого транспортера, який розташований на платформі ваг або підвішеного до силувимірювального пристрою (рис 1.15). У таких витратомірах сумарний тиск на транспортер потоку сипучого продукту є функцією декількох величин, які характеризують геометричні, кінематичні параметри стрічкового транспортера і фізико-механічні властивості сипкого матеріалу. Для спрощення цієї залежності необхідно сипкий матеріал подавати з швидкістю руху, а діаметр кінцевого барабана вибрати таким, щоб потік сипкого продукту відривався від стрічки при досягненні вертикального діаметра барабана. Для зменшення впливу пружних властивостей сипучого продукту необхідно

					МД.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подавати його на транспортер можливо більш щільною струменем. Похибка вимірювання залежить від координати розташування живильного бункера щодо центру майданчики та становить близько 3%.[8]

Переваги:

- Простота конструкції

Недоліки:

- Висока похибка.
- Залежність похибки від натягу стрічки

1.4.4.Витратоміри, засновані на визначенні геометричних та електричних параметрів потоку.

В основу принципу дії витратомірів, заснованих на визначенні геометричних параметрів потоку, покладена залежність між витратою, площею поперечного перерізу, швидкістю та об'ємною масою сипучого матеріалу, тобто

$$Q = Svp$$

Де S – площа поперечного перерізу;

V – швидкість потоку;

Q – масова витрата;

P – об'ємна маса сипучого матеріалу

Так як потік рухається з постійною швидкістю, то визначення витрати по товщині шару чи площі поперечного перерізу потоку дає цілком задовільні результати. Якщо ж швидкість та об'ємна маса значно змінюються, то розміри потоку в поперечному перерізі не можуть з достатньою точністю характеризувати витрату.[8]

Витратоміри, що використовують електричні параметри потоку, які засновані на поглинанні контрольованим потоком сипких матеріалів різних

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

видів випромінювань. До такого типу належить гамма-променевої витратомір для зерна, схема якого наведена на рис 1.16.

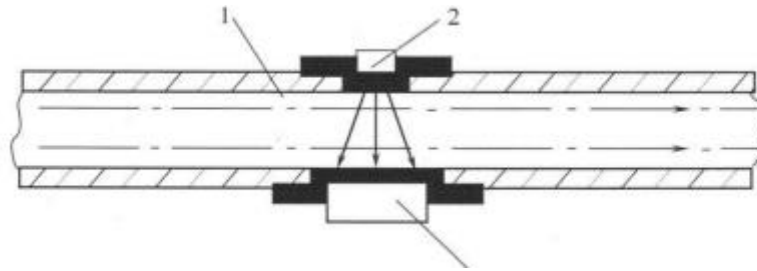


Рисунок 1.16 Гамма-променевий витратомір

1 – пневмотруба; 2 – джерело випромінювання; 3 – приймач випромінювання

У пневмотрубі 1 на протилежних сторонах закріплені джерело випромінювання 2 та приймач випромінювання 3, інформація з якого надходить до вимірювального пристрою. Принцип роботи витратоміра заснований на ослабленні інтенсивності гамма-променів, що пройшли через потік сипких матеріалів в пневмотрубі. Похибка даного витратоміра залежить від вологості та щільності контрольованого матеріалу та становить 5%.[8]

Ємнісний чи поляризаційний метод вимірювання витрати сипких матеріалів заснований на зміні ємності конденсатора від зміни діелектричної проникності між обкладинками, що визначається кількістю сипкого матеріалу. Якщо діелектрикпомістити в електричне поле зарядженого конденсатора, то це призводить до збільшення його ємності. Якщо такий конденсатор підключити до джерела постійного напруги, то зміна його ємності позначиться на заряді, який утримується на його обкладинках. Величина зміни цього заряду прямо пропорційна зміні електричної ємності конденсатора та поданого на електроди напруги, а також кількості сипкого матеріалу в електричному полі. Трубопровід з матеріалом поміщається між обкладинками конденсатора. При пролітанні між ними матеріал створює імпульси струму у ланцюзі конденсатора. Чим більші тапотужніші ці викиди, тим більша кількість матеріалу проходить по трубі.

					МД.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо швидкість потоку сипкого матеріалу постійна, то між витратою продукту та ємністю конденсатора є певна залежність, яка, буде залежати від його щільності, яка створює домінуючу похибку.[8]

Переваги:

1. Компактність
2. Просте калібрування
3. Можливість використовувати в важкодоступних місцях трубопроводу

Недоліки:

1. Низька точність

1.4.5.Вихоровий метод

Вихровими називаються витратоміри, засновані на залежності від витрати частоти коливання тиску, які виникають в потоці в процес вихроутворення або коливання потоку. Вони діляться на 3 групи:

1.Витратоміри, які мають в первинному перетворювачі не рухливе тіло, при обтіканні якого з обох його сторін по змінно виникають вихри, я створюють пульсацію тиску.

2. Витратоміри в первинному перетворювач яких потік закручується і потрапляє після цього в розширену частину труби, створює при цьому пульсації тиску.

3.Витратоміри, в первинному перетворювачі яких потік, який витікає з отвору, здійснює автоколивання, створюючи при цьому пульсації тиску. [3]

У вихрових витратомірів багато переваг: відсутність рухливих частин, простота та надійність перетворювача витрати, незалежність показань від тиску та температури, великий діапазон вимірювання, який доходить в деяких випадках до 15 – 20, лінійність шкали, хороша точність(похибка $\pm 0.5 - 1.5\%$), частотний вимірюваний сигнал, стабільність показів, порівняно нескладна вимірювальна схема, можливість отримання універсального градуювання. До недоліків вихрових витратомірів відносяться відноситься значна втрата тиску,

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

яка досягає 30-50 кПа, і деякі обмеження можливостей їх використання: вони не придатні при малих швидкостях через складності вимірювання сигналу, маючи малу частоту, і виготовляються тільки для труб, які мають діаметр від 25 до 150-300 мм.[3]

Вихрові витратоміри за обтікаємим тілом

Тіло знаходиться на шляху потоку, змінює направлений рух обтікаючих його потоків і збільшує їх швидкість за рахунок відповідного зменшення тиску. За міделевим перерізом тіла починається обернений процес зменшення швидкості і збільшення тиску. Одночасно з цим на передній стороні тіла створюється підвищений а на задній стороні понижений тиск. Пограничний шар який обтікає тіло, пройшовши міделевий переріз, відривається від тіла і під впливом пониженого тиску за тілом змінює напрям руху, утворюючи вихор. Це відбувається як на верхніх так і на нижніх точках обтікаємого тіла. Але так, як розвиток вихру з однієї сторони перешкоджає такому ж розвитку з іншої сторони, то утворення вихрів з тієї чи іншої сторони відбувається по черзі (Рис. 1.17). При цьому за обтікаємим тілом утворюється вихрова доріжка комірки шириною a , яка має постійне відношення b/a яку для обтікаємого циліндру дорівнює 0,281.[3]

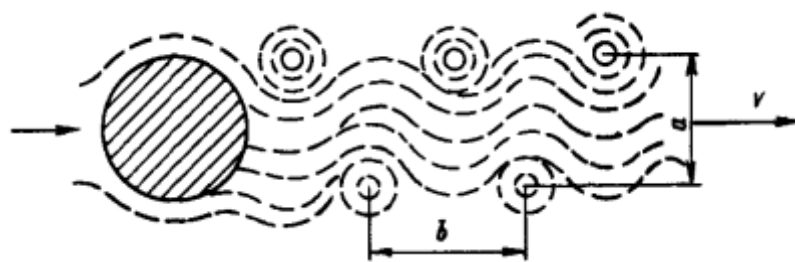


Рисунок 1.17 Схема утворення вихрів

Рівняння витрати для вихрових витратомірів з обтікаємим має вигляд:

$$Q = \left(\frac{sd}{sh} \right) * f, \quad (2.3)$$

де f -частота зриву вихрів;

d -діаметр циліндра;

s – площа найменшого поперечного перерізу потоку навколо обтікаємого тіла.

Витратоміри з прецесією воронкоподібного вихру

Перетворювачі цих витратомірів мають пристрій, який закручує потік, потім через короткий циліндричний насадок або ділянку труби в її розширену частину. В останній потік який обертається приймає воронкоподібну форму, а його вісь, навколо якої обертається навколо осі трубопровода. При цьому тиск на зовнішній поверхні вихрового потоку пульсує синхронно з кутовою швидкістю обертання ядра вихру пропорційно лінійній швидкості або об'ємній витраті. Для перетворення частоти пульсацій тиску або швидкості в вимірюваний сигнал використовуються п'єзоелементи або напівпровідникові термоанемометри. Таким чином, цей перетворювач складається з двох ступенів – в 1-й ступені відбувається перетворення об'ємної витрати потоку в частоту прецесії воронкоподібного вихору, а в 2-й – перетворення цієї частоти в вимірювальний сигнал. Дві можливі принципові схеми першої ступені перетворювачів таких витратомірів показані на рис. 1.18 а, б. На рис а газ по трубі 1 діаметром δ входить тангенціально в циліндричну камеру 2 діаметром D , де закручується і через патрубок 3 діаметром d і довжиною L потрапляє в трубу або камеру 4 більшого діаметра, де потік процесує, що супроводжується пульсаціями тиску та швидкості. На рис 1.18 б закручування потоку виконується спірально розташованими лопатками. В іншому обидві схеми ідентичні.[3]

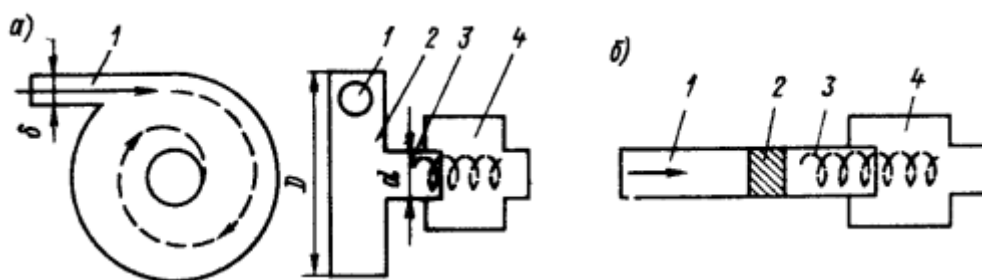


Рисунок 1.18. Схеми пристроїв, які створюють обертний рух потоку.

1.4.6.Ультразвуковий метод

Ультразвукові витратоміри зазвичай служать для вимірювання об'ємних витрат через те, що виникають проходження акустичних коливань через потік рідини або газу зв'язаних з швидкістю останнього. Але шляхом додавання акустичного перетворювача, який реагує на щільність вимірюваної речовини, можна здійснити і вимірювання масової витрати. Приведена похибка ультразвукових витратомірів лежить в межах від 0.1 до 2.5%, але в середньому може бути оцінена цифрами 0.5 – 1%. Ультразвукові витратоміри придатні для труб будь-якого діаметра починаючи з 10 мм.[3]

Цей метод має такі переваги :

- Безконтактність, що дозволяє вимірювати витрату без контакту з вимірюваною речовиною за допомогою п'єзоперетворювачів.
- висока швидкодія
- відсутність рухливих елементів,
- висока точність.

Ультразвукові витратоміри поділяються на:

1.Фазові

2.Імпульсні

3.Частотно-імпульсні

Фазові ультразвукові витратоміри

Суть ультразвукового фазового методу полягає в тому, що ультразвукові коливання вводяться синфазно в вимірюване середовище по напрямку потоку і проти нього. Ультразвукові хвилі проходять через середовище і потрапляють на п'єзоелемент – приймач. На приймачі ультразвукові хвилі мають деякий зсув фази і за цим зсувом ми можемо визначити витрату. Схема приладу на рис 1.19.[3]

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

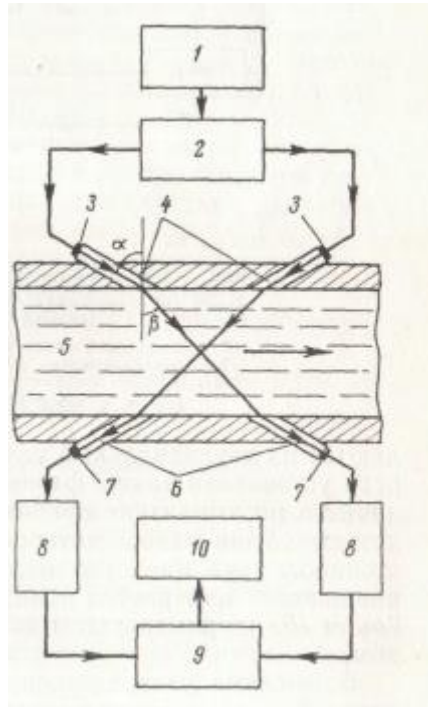


Рисунок 1.19. Ультразвуковий витратомір за фазовою схемою:

1. Задаючий генератор.
2. Підсилювач потужності.
3. Випромінюючі п'єзоелементи.
4. Звукопроводи.
5. Контролююче середовище.
6. Звукопроводи.
7. Прийомні п'єзоелементию
8. Двоканальний підсилювач.
9. Фазовий детектор.
10. Реєструючий пристрій.[3]

Імпульсні ультразвукові витратоміри

Суть ультразвукового методу за імпульсною схемою полягає в тому, що короткі імпульси ультразвуку випромінюються в напрямку потоку і проти нього. Ультразвук потрапляє на приймач. Час проходження імпульсів за потоком та проти нього відрізняється. Тому за різницею часу проходження імпульсу ми можемо визначити витрату. Схема ультразвукового витратоміра зображена на рис. 1.20.[3]

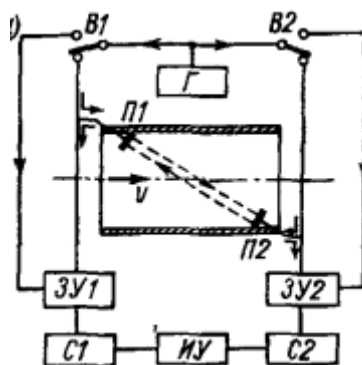


Рисунок 1.20 Схема ультразвукового імпульсного витратоміра:

ЗУ1, ЗУ2- зарядні пристрої

ИУ- вимірюючий пристрій

В1,В2- вібратори

П1,П2- п'єзоперетворювачі [3]

Ультразвукові частотно-імпульсні витратоміри

В частотно імпульсних схемах короткі імпульси електричних коливань високої частоти подаються на випромінюючі п'єзоелементи і перетворюються в них на ультразвукові імпульси. Після того як імпульси пройшли через середовище до приймача запускається новий цикл генерування ультразвукового імпульсу. Різниця частот слідування імпульсів або пакетів визначає швидкість потоку речовини. [3]

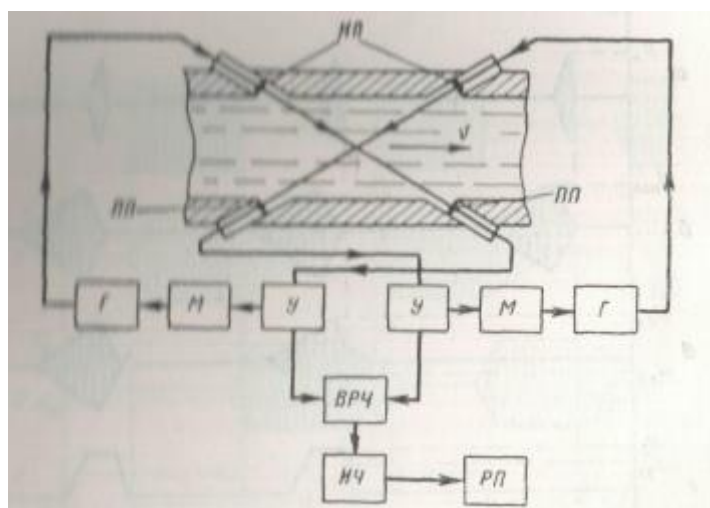


Рис 1.21. Схема витратоміра по частотній схемі

Г-генератори;

ИП- випромінюючі п'єзоелементи;

ПП – прийомні п'єзоелементи;

У- підсилювач;

М-модулятор;

ВРЧ- виділення резонансної частоти;

ИЧ- вимірювач частоти;

РП- реєструючий прилад.[4]

Даний метод недоцільно використовувати для сипких матеріалів адже для деяких матеріалів сили ультразвуку яку генерують п'єзодатчики може бити не достатньо для того щоб ультразвук пройшов через вимірюване середовище.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Висновки до розділу

В ході огляду було виявлено що прилади обліку витрати сипучих матеріалів які доступні на даний момент не задовольняють потреб промисловості. Через те , що деякі прилади мають високу точність, проте малу мобільність та великі габарити (лоткові і вібрототкові) інші мають низьку точність (прилади засновані на визначенні геометричних та електричних параметрів потоку) або мають низьку точність і великі габарити (стрічковий). Тому для даної роботи був вибраний тахометричний метод.

Отже, в результаті огляду було виявлено деякі поточні проблеми обліку сипучих матеріалів, тому ця тема є актуальною

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

2.РОЗРОБКА ТАХОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА З АКСІАЛЬНОЮ ТУРБІНОЮ.

Кінематична схема лічильника зображена на рис. 2.1.

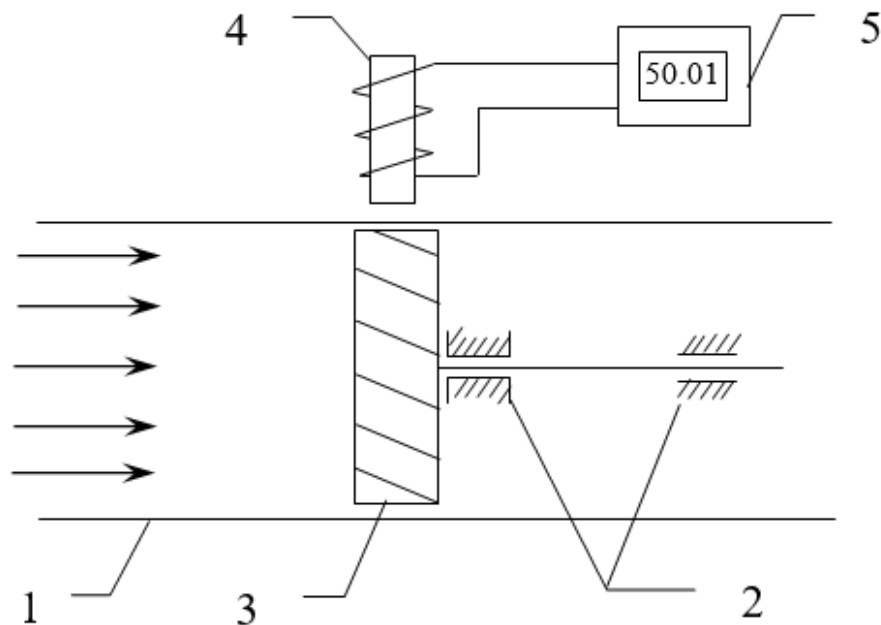


Рисунок 2.1 Кінематична схема лічильника

1 - Корпус

2 – Підшипники

3 – Турбіна

4 – Магнітоіндукційний перетворювач

5 – Відліковий пристрій

Турбіна, вісь якої кріпиться в шарикопідшипниках, під впливом потоку вимірюваного середовища здійснює обертальний рух, швидкість якого пропорційна об'ємній витраті рідини, що проходить через витратомір. Індукційний перетворювач виробляє вимірювальний сигнал, який пропорційний швидкості обертання турбіни, який реєструється вимірювальним

пристроєм. Отже датчик має два ступені перетворення сигналу: перший - перетворює рух рідини в обертальний рух ротора, другий - перетворює обертальний рух в імпульси. Імпульси обробляються рахунковим пристроєм.

Схематично конструкція крильчатки показана на рис 2.2

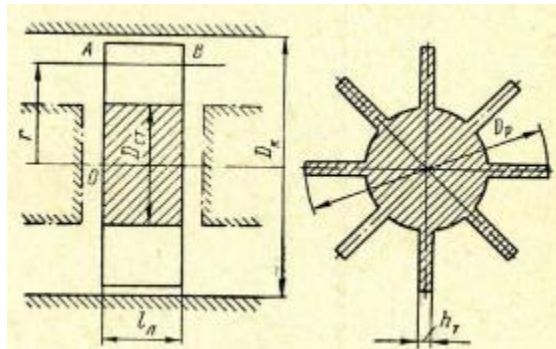


Рисунок 2.2. Конструкція крильчатки

Де

D_k – діаметр корпусу.

D_p – зовнішній діаметр ротора.

$D_{ст}$ – діаметр ступиці ротора.

l_l – довжина решітки

Лопасті крильчатки утворюють решітку профілів

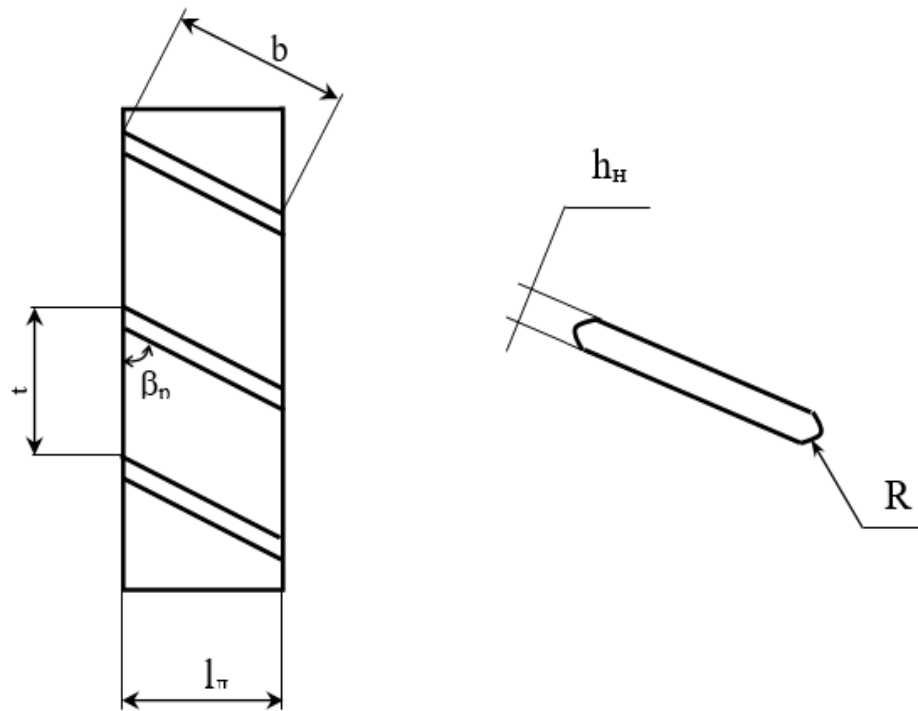


Рисунок 2.3 Профіль лопатки

t – Крок решітки лопастей

b – хорда лопастей

z – число лопастей

p – крокове перекриття

τ - густота решітки = b / t

β_p – установочний кут ротора

h_n – товщина лопастей

Діаметр трубопроводу відповідно до завдання :

$D_k = 50\text{мм}$

Зазор h_3 між лопастями і корпусом:[1]

$$h_3 = (0,01 \dots 0,02) D_p$$

Візьмемо зазор $h_3 = 0.015 D_p$

$$h_3 = 0,5(D_k - D_p)$$

					МД.ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$0.015 D_p = 0,5(D_k - D_p)$$

Звідси визначимо діаметр ротора D_p

$$D_p = \frac{0.5 * D_k}{0.5 + 0.015}$$

$$D_p = \frac{0.5 * 50}{0.5 + 0.015} = 48.55 \text{ мм}$$

Отже отримуємо

$$h_3 = 0,015 * 48,55 \approx 0,7 \text{ мм}$$

Далі визначимо діаметр ступиці ротора $D_{ст}$

$$D_{ст} = (0,5 \dots 0,8) D_p$$

Беремо $D_{ст} = 0,6 * D_p$, отже

$$D_{ст} = 0,6 * 48,55 = 29,1 \text{ мм}$$

Визначимо висоту лопасті $h_{л}$

$$h_{л} = 0,5 (D_p - D_{ст})$$

$$h_{л} = 0,5 * (48,55 - 29,1) = 9,7 \text{ мм}$$

За рекомендаціями установочний кут ротора $\beta_p = 52^\circ$. [1]

Середньоквадратичний діаметр D дорівнює

$$D = \sqrt{0.5 * D_p^2 + 0.5 * D_{ст}^2}$$

$$D = \sqrt{0.5 * 48,55^2 + 0.5 * 29,1^2} = 40,02 \text{ мм}$$

Знайдемо хід гвинтової поверхні яка утворює лопасті H

$$\text{ctg } \beta_p = \frac{\pi * D}{H}$$

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$H = \frac{\pi * D}{\operatorname{ctg} \beta_p}$$

$$H = \frac{\pi * 40}{\operatorname{ctg} 52} = 161 \text{ мм}$$

Визначимо крок решітки лопастей t

$$t = \frac{\pi * D}{z}$$

де z – число лопастей

За рекомендаціями з [1] візьмемо $z = 4$, отже

$$t = \frac{\pi * 40}{4} = 31.4 \text{ мм}$$

Визначимо хорду лопасті b

$$b = \frac{t * p}{\cos \beta_p}$$

Де p – крокове перекриття

Крокове перекриття можна взяти з графіка рис

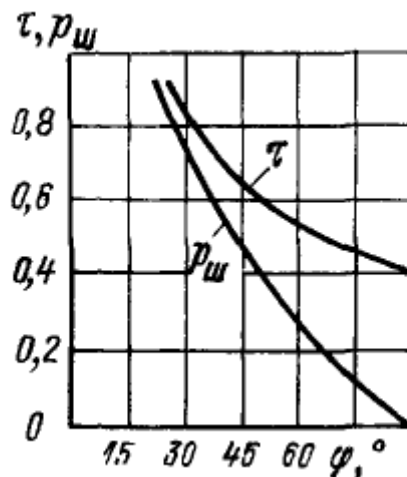


Рисунок 2.4. Залежність оптимальних значень p від кута лопасті

З графіка рис 2.4 видно що для кута 52° $p = 0,4$, тоді

					МД.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$b = \frac{31,4 * 0,4}{\cos 52} = 20.59 \text{ мм}$$

Визначимо довжину лопасті $l_{\text{л}}$

$$l_{\text{л}} = b * \sin \beta_p$$

$$l_{\text{л}} = 20,59 * \sin 52 = 16.06 \text{ мм}$$

Визначимо густину решітки τ

$$\tau = \frac{b}{t}$$

$$\tau = \frac{20.59}{31.4} = 0.66$$

Далі необхідно визначити товщину лопастей. Товщина лопастей повинна бути мінімальною. Тому для алюмінієвих сплавів та сталі товщина є рівною 0,8:1,0 мм.

Отже беремо товщину лопасті $h_{\text{н}} = 1 \text{ мм}$.

2.1.Визначення осьового навантаження

Вимірюване середовище протікає між лопатками як по каналам постійного перерізу, які утворені сторонами двох сусідніх лопаток корпусом датчика і ступицею.

$$F_a = \frac{\rho * S_0 * F_{\text{п}} * \lambda * Q^2}{8 * F_0^3}$$

F_a – осьова сила .

S_0 – поверхня тертя каналу .

F_0 – площа поперечного перерізу каналу.

ρ - густина вимірюваного середовища.

λ - коефіцієнт супротиву тертя одиниці довжини каналу.

Q – витрата.

					МД.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

F_{Π} – площа на яку діє перепад тиску.

Визначимо площу поперечного перерізу каналу F_0

$$F_0 = 2 * r_{cp} * \pi * \operatorname{tg} \beta_p * \left(\sqrt{r_p^2 + r_{cp}^2 * \operatorname{tg}^2 \beta_p} - \sqrt{r_{ct}^2 + r_{cp}^2 * \operatorname{tg}^2 \beta_p} \right) - z * h_H * (r_p + r_{cp})$$

Де r_{ct} – радіус ступиці

r_p – радіус ротора

r_{cp} – середний радіус

Визначимо необхідні радіуси:

$$r_p = \frac{D_p}{2}$$

$$r_p = \frac{48.55}{2} = 24.27 \text{ мм}$$

$$r_{ct} = \frac{D_{ct}}{2}$$

$$r_{ct} = \frac{29.1}{2} = 14.55 \text{ мм}$$

$$r_{cp} = \frac{r_p + r_{ct}}{2}$$

$$r_{cp} = \frac{14.55 + 24.27}{2} = 19.41 \text{ мм}$$

Отже площа поперечного перерізу дорівнює

$$F_0 = 2 * 19.41 * \pi * \operatorname{tg} 52 * \left(\sqrt{24.27^2 + 19.41^2 * \operatorname{tg}^2 52} - \sqrt{14.55^2 + 19.41^2 * \operatorname{tg}^2 52} \right) - 4 * 1 * (24.27 + 19.41) = 689 \text{ мм}^2 = 6.89 * 10^{-4} \text{ м}^2$$

					МД.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо поверхню тертя S_0

$$S_0 = 2 * z * F_{\text{л}} + F_{\text{ст}} + F_{\text{т}}$$

Де $F_{\text{ст}}$ - площа бокової поверхні статора .

$F_{\text{л}}$ - площа однієї бокової поверхні лопатки.

$F_{\text{т}}$ - площа торців лопаток по периферії.

Визначимо складові рівняння

$$F_{\text{т}} = \frac{l_{\text{л}} * z * h_{\text{н}}}{\sin \beta_{\text{р}}}$$

$$F_{\text{т}} = \frac{16,06 * 4 * 1}{\sin 52} = 8,1 * 10^{-5} \text{ м}^2$$

$$F_{\text{ст}} = l_{\text{л}} \left(2 * \pi * r_{\text{ст}} - \frac{z * h_{\text{н}}}{\sin \beta_{\text{р}}} \right)$$

$$F_{\text{ст}} = 16,06 * \left(2 * \pi * 14,55 - \frac{4 * 1}{\sin 52} \right) = 1,3 * 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$F_{\text{л}} = \frac{l_{\text{л}} * (r_{\text{р}} - r_{\text{ст}})}{\sin \beta_{\text{р}}}$$

$$F_{\text{л}} = \frac{16,06 * (24,27 - 14,55)}{\sin 52} = 2,6 * 10^{-3} \text{ м}^2$$

Отже поверхня тертя S_0

$$S_0 = 2 * 4 * 2,6 * 10^{-3} + 1,3 * 10^{-3} + 8,1 * 10^{-5} = 22,1 * 10^{-3} \text{ м}$$

Визначимо площу на яку діє перепад тиску $F_{\text{п}}$

$$F_{\text{п}} = \pi * r_{\text{р}}^2$$

$$F_{\text{п}} = \pi * 24,24 * 24,27 = 1,8 * 10^{-3} \text{ м}^2$$

Визначимо коефіцієнт опору тертя одиниці довжини каналу λ

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

Re – число Рейнольдса

					МД.ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Re = \frac{d_s * W_s}{\nu}$$

Де W_s – швидкість витання .

d_s – середня крупність.

ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості повітря.

Для зерна:

$$W_s = 10 \text{ м/с}$$

$$d_s = 0,005 \text{ м}$$

$$\nu = \eta / \rho$$

Де ρ - густина.

η - динамічна в'язкість.

Для повітря :

$$\eta = 18,6 \text{ Па * с}$$

$$\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$$

$$\nu = \frac{18,6}{1,29} = 14,4$$

Отже

$$Re = \frac{0,005 * 10}{14,4} = 0,0034$$

Тоді коефіцієнт опору тертя

$$\lambda = \frac{0.316}{0,0034^{0,25}} = 1,31$$

Визначимо площу живого перерізу S потоку в площині, перпендикулярній осі ротора

$$S = \frac{\pi * D_K^2}{4} - \frac{\pi * D_{CT}^2}{4} - \frac{z * h_L * h_H}{\sin \beta_p}$$

$$S = \frac{\pi * 0,05^2}{4} - \frac{\pi * 0,03^2}{4} - \frac{4 * 0,0007 * 0,001}{\sin 52} = 0,0012 \text{ м}^2$$

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Використаємо в якості вимірюваного середовища зерно пшениці і в якості густини виступатиме насипна густина. Отже при

$$\rho = 750 \text{ кг/м}^3, Q = 0,00027 \text{ м}^3/\text{с} \quad \text{осьова сила } F_a$$

$$F_a = \frac{750 * 22,1 * 10^{-3} * 1,8 * 10^{-3} * 1,31 * (2,7 * 10^{-3})^2}{8 * (6,89 * 10^{-4})^3} = 100 \text{ Н}$$

Визначимо вагу турбіни

$$mg = 9,81 * V * \rho_m$$

ρ_m – густина матеріалу турбіни

V – об'єм турбіни

$$\rho_m = 8,93 * 10^3 \text{ кг / м}^3$$

$$V = \pi * r_{\text{ст}}^2 * l_{\text{л}}$$

$$V = \pi * 14,55^2 * 16,06 = 10675 \text{ мм}^3 = 1,06 * 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$mg = 9,81 * 1,06 * 10^{-5} * 8,93 * 10^3 = 0,92 \text{ Н}$$

2.2.Вибір підшипників

Осьова сила $F_a = 100 \text{ Н}$

Радіальна сила $F_r = 0,92 \text{ Н}$

Виберемо два радіальні однорядні шарикопідшипника 1000084 ГОСТ 8338 – 75 [5]

$$D = 9 \text{ мм.}$$

$$d = 4 \text{ мм.}$$

$$D_w = 1,30$$

$$C_0 = 186 \text{ Н}$$

$$C = 540 \text{ Н}$$

$$B = 2,5 \text{ мм.}$$

$$Z = 9$$

$$r = 0,2 \text{ мм.}$$

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$n_{\text{пред}} = 53000 \text{ хв}^{-1}$ при рідкому змазочному матеріалі змазочном матеріалі

45000 хв^{-1} при пластичному змазочном матеріалі

Маса = 0,0007 кг.

Визначимо динамічну вантажоподйомність підшипника

$$C = \frac{\sqrt{F_a^2 + F_r^2}}{2} * L^{0.33}$$

$$L = \frac{L_h * 60 * n}{10^6}$$

L_h – кількість годин які підшипник повинен пропрацювати.

n – число обертів за хвилину.

Примемо $L_h = 5000$ ч.

$n = 5 * 60 = 300 \text{ об / хв.}$

$$L = \frac{5000 * 60 * 300}{10^6} = 90$$

$$C = \frac{\sqrt{100^2 + 0.92^2}}{2} * 90^{0.33} = 69,79 \text{ Н} < 540$$

Отже підшипники підходять.

2.3. Розрахунок індукційного перетворювача

Індукційний перетворювач – тахометричний пристрій для перетворення швидкості обертання ротора в електричний сигнал. Розділяють три види модуляції – амплітудну фазову і частотну. На рис приведений ряд принципових схем індукційних тахометричних пристроїв з магнітом який обертається.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

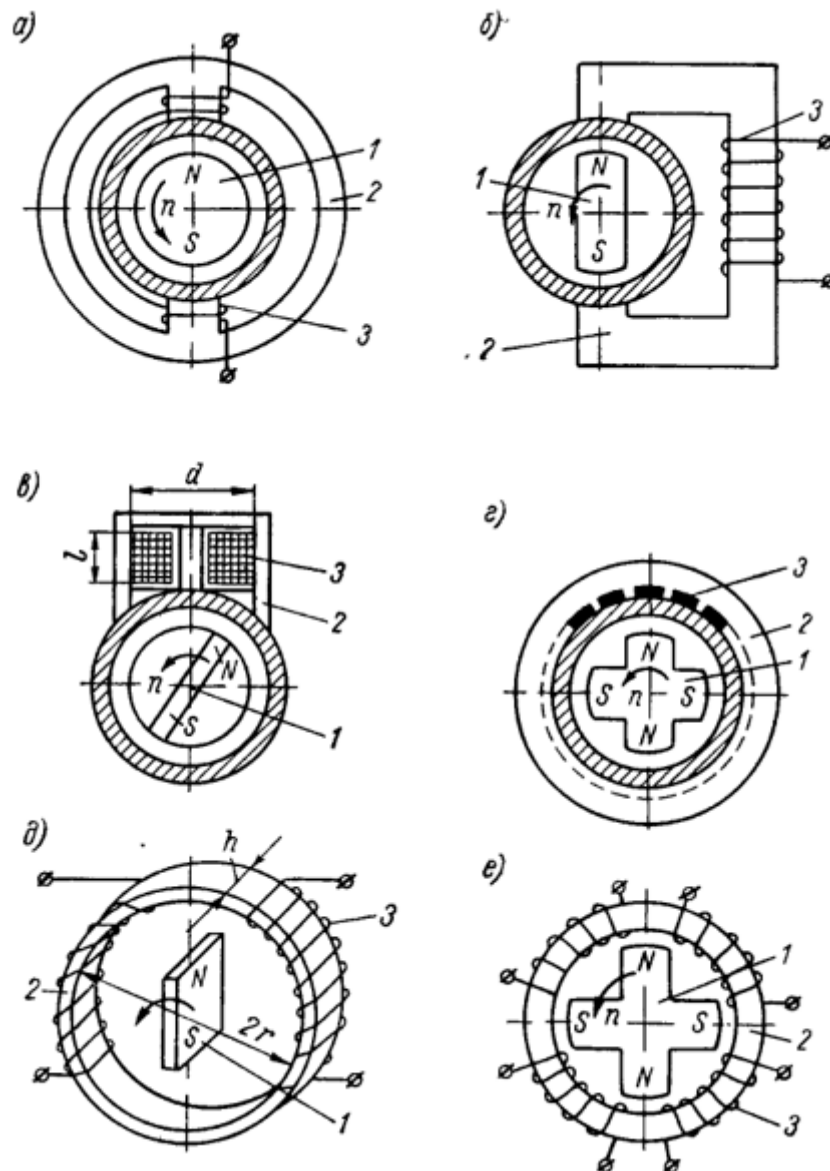


Рисунок.2.5 Індукційні тахометричні пристрої з магнітом що обертається

1 – магніт; 2 – статор; 3 – ротор

Система з магнітом що обертається привертає увагу, перш за все найменшою величиною статичного моменту, який прикладений до ротора і можливістю розмістити досить велику кількість витків обмотки в малих габаритах корпусу. Недоліком такої системи є відносно великі втрати енергії на утворення вихрових струмів в корпусі датчика.

Індукційні вторинні перетворювачі можуть також виконуватися з нерухомим магнітом. Магнітний ланцюг в цьому випадку складається з

феромагнітного ротора і зовнішнього магнітопроводу - статора, на якому розташовується обмотка. При обертанні ротора в результаті періодичної зміни магнітного опору кола, а отже, і величини магнітного потоку, що пронизує обмотку, в ній виникає змінна ЕРС. Якщо число магнітопроводних лопатей крильчатки дорівнює z , то за один повний оберт магнітний опір зміниться z раз і в обмотці з'явиться z імпульсів струму.

Визначимо максимальний діаметр магніта

$$d_{\max} = (0,19 \dots 0,15) (B_{\text{лдоп}} * a * b * \delta^2)^{1/4}$$

δ - зазор між торцем магніту та лопастью. Беремо $\delta = 4$ мм.

a, b – товщина та ширина лопасті.

$B_{\text{лдоп}}$ – індукція яка допускається в лопасті по умові насичення.

$$B_{\text{лдоп}} = 15000 \text{ Гс} = 1,5 \text{ Тл.}$$

$$d_{\max} = (0,19 \dots 0,15) (15000 * 0,1 * 1 * 0,4^2)^{1/4} = 6,7 \text{ мм}$$

Визначимо оптимальну довжину магніту L

$$\text{Знайдемо } (L/\delta)_{\text{опт}} = 4,5$$

$$L = (L/\delta)_{\text{опт}} * \delta = 4,5 * 4 = 18 \text{ мм.}$$

Величина вихідного сигналу залежить від числа витків обмотки. Проте зі збільшенням числа витків зростає ЕРС обмотки. Разом з цим активний і індуктивний опір генератора яке приводить до зниження вихідного сигналу.

Знайдемо кількість витків обмотки W

Індуктивний опір обмотки X_L :

$$X_L = 1,95 * \pi * f * d * W * \left(\frac{\mu_B}{L^*} + \frac{1}{K_L} \right) * 10^{-8}$$

де f – частота ЕРС

W – кількість витків обмотки

					МД.ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

μ_B – проникність матеріалу магніту

$$\mu_B = 24,6$$

L^* - відносна довжина магніту

K_L – зовнішній діаметр котушки = 6 мм

$$W = \frac{X_r}{1,95 * \pi * f * d * * (\frac{\mu_B}{L^*} + \frac{1}{K_L}) * 10^{-8}}$$

$$f = n * z$$

$$f = 4 * 4 = 16 \text{ 1/с.}$$

$$L^* = \frac{L}{d}$$

$$L^* = \frac{18}{6,7} = 2,69$$

Задамо $X_r = 100$ Ом, тоді W

$$W = \frac{100}{1,95 * \pi * 16 * 6,7 * (\frac{24,6}{2,69} + \frac{1}{6}) * 10^{-8}} = 4048$$

Обмотка котушки виготовлена з мідного проводу ГОСТ 7262-78 діаметр проводу з ізоляцією дорівнює 0,24 мм

Розрахуємо зовнішній діаметр котушки враховуючи те, висота котушки дорівнює довжині магніту, тобто 18 мм а внутрішній діаметр дорівнює діаметру магніту плюс дві товщини стінки які дорівнюють 1мм.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

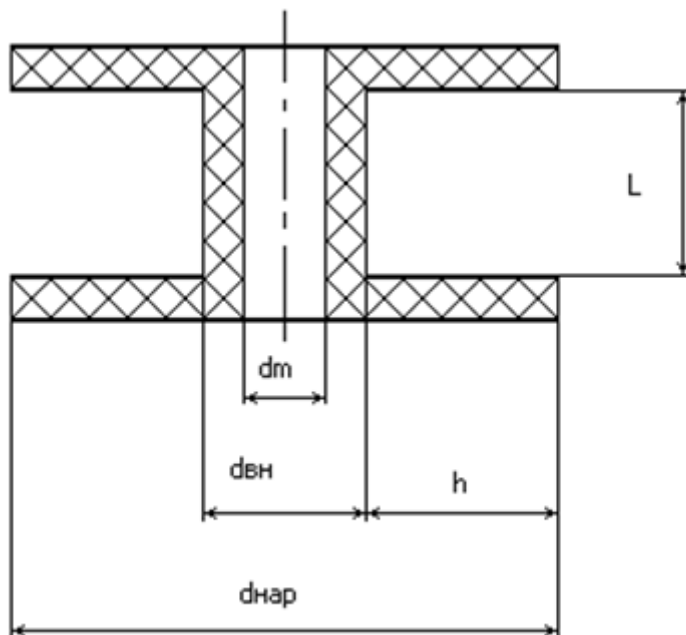


Рисунок 2.6 Схема котушки

Висота намотки проводу L дорівнює довжині магніут мінус дві товщини фланців котушки ($L = 16\text{мм}$)

Кількість витків проводу який уложиться на довжині L дорівнює

$$n = \frac{L}{d_{\text{пр}}}$$

Де $d_{\text{пр}}$ – діаметр обмоточного проводу з ізоляцією

$$n = \frac{16}{0,24} = 66,6$$

Беремо $n = 66$

Визначимо кількість шарів намотки

$$S = \frac{W}{n}$$

Де W – загальна кількість витків

$$S = \frac{4048}{66} = 61,3$$

					МД.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо $S = 62$

Визначимо товщину намотки h

$$h = s * d_{\text{пр}}$$

$$h = 62 * 0.24 = 14.88 \text{ мм}$$

Приймаємо $h = 15 \text{ мм}$

Визначимо зовнішній діаметр котушки

$$d_{\text{зовн}} = d_{\text{вн}} + 2 * h$$

$$d_{\text{зовн}} = 8,7 + 2 * 15 = 38,7 \text{ мм}$$

Так як при намотці укладка проводу буде не ідеальною зовнішній діаметр необхідно взяти більшим, тому діаметр котушки 44 мм.

Довжина проводу обмотки l

$$l = \frac{(d_{\text{вн}} + d_{\text{зовн}}) * W * 3,14}{1000 * 2}$$

$$l = \frac{(44 + 8,7) * 4048 * 3,14}{1000 * 2} = 336 \text{ м}$$

Опір обмотки r

$$r = \frac{\rho_0 * l}{S}$$

Де ρ_0 – питомий опір міді,

S – площа поперечного перерізу проводу

$$\rho_0 = 0,01725 \text{ Ом} * \text{мм}^2 / \text{м}$$

$$S = 3,14 * 0,1^2 = 0,0314 \text{ мм}^2.$$

$$r = \frac{0,01725 * 336}{0,0314} = 185 \text{ Ом}$$

					МД.ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.Визначення швидкості обертання ротора

Ідеальна швидкість обертання ротора n_i

$$n_i = \frac{Q}{SH}$$

Реальна залежність між витратою і швидкістю обертання

$$n = \frac{Q}{SH} * (1 - S_k)$$

S_k – ковзання ротора

$$S_k = \frac{C_f * l_L * J_u}{C * D^2 * S * \sin^2 \beta_p}$$

C_f – коефіцієнт тертя, $C_f = 0,021$

$$J_u = (2 * z / 3) (r_p^3 - r_{ct}^3) + r_{ct}^2 (2 \pi r_{ct} - z h_T) \sin \beta_p + z r_p^2 h_T \sin \beta_p$$

$$h_T = \frac{h_H}{\sin \beta_p}$$

$$h_T = \frac{1}{\sin 52_p} = 1,28 \text{ мм}$$

$$J_u = (2 * 4 / 3) (24,27^3 - 14,55^3) + 14,55^2 (2 \pi 14,55 - 4 * 1,28) * 0,78 + 4 * 24,27^2 * 1,28 * 0,78 = 35\,890,83 \text{ мм}^3 = 3,5 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$C = \frac{(1 - A)}{2},$$

Де C , A – коефіцієнти

$$A = \frac{\frac{1 - m\tau}{2 * \sin \beta_p}}{\frac{1 + m\tau}{2 * \sin \beta_p}}$$

$$A = \frac{1 - 2,8 * 0,66}{1 + 2,8 * 0,66} = -0,29$$

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$C = \frac{1 + 0.29}{2} = 0.6$$

$$S_k = \frac{0.021 * 16.06 * 10^{-3} * 3.5 * 10^{-6}}{0.6 * (40.02 * 10^{-3})^2 * 1.2 * 10^{-3} * \sin^2 52} = 0.1$$

Знайдемо частоту вихідного сигналу

$$f = z * n$$

$$f = 4 * \frac{Q}{SH} * (1 - S_k)$$

$$f = 4 * \frac{Q}{0.0012 * 0.16} * (1 - S_k) = 20833Q * (1 - S_k)$$

2.4. Визначення похибок

Похибку при даному методі вимірювання та конструкції можуть викликати ковзання від моменту викликаного тертям в опорах і ковзання яке викликане моментом опору індукційного перетворювача.

Момент тертя двох шарикопідшипників, один з яких навантажений осьовою силою дорівнює:

$$M1 = [3,6 * 10^{-3} * D^2 (1 + 10^{-3} n) + 7,7 * 10^{-5} v^2] (1 + 2P) + 5 * 10^{-9} D^4 v^{0,5} n$$

n – число обертів робочого колеса, об/хв

P – осьове зусилля, кг

v - кінематичний коефіцієнт в'язкості

D – зовнішній діаметр підшипника, мм

$$\begin{aligned} M1 &= [3,6 * 10^{-3} * 9^2 (1 + 10^{-3} n) + 7,7 * 10^{-5} 0,69^2] (1 + 2 * 0,0002) + \\ &+ 5 * 10^{-9} 9^4 0,69^{0,5} n = [0,29 (1 + 10^{-3} n) + 3,67 * 10^{-5}] + 2,72 * 10^{-5} * n = \\ &= 0,29 + 3,17 * 10^{-4} n [\text{Гс} * \text{см}] = (0,29 + 3,17 * 10^{-4} n) 10^{-5} \text{ Н*м} \end{aligned}$$

					МД.ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З розрахунку можна зробити висновок, що складова яка залежить від числа обертів є дуже малою, тому можна знехтувати цим значенням. Отже момент тертя :

$$M1 = 0,29 * 10^{-5} \text{ Н*м}$$

Далі визначимо момент опору викликаний індукційним перетворювачем. Як сказано в [1] момент реакції електромагнітної системи вимірювання числа обертів турбіни є дуже малою величиною. Отже для турбінних витратомірів цією величиною можна знехтувати. Тоді формула для розрахунку M2 матиме вигляд:

$$M2 = \frac{z}{4\pi f} * \left(\frac{E_m^2}{2 * Z_r} + \frac{U_m^2}{(Z_r + Z_n) * \cos\psi} \right)$$

Де E_m U_m – максимальна ЕРС

ψ - кут зсуву фаз

Визначимо максимальну ЕРС в котушці

$$E_m = 2\pi n W \Phi_m$$

$$U_m = \frac{2\pi n W \Phi_m R_H}{R_r + R_H}$$

Де Φ_m – максимальний магнітний потік в лопасті

$$\Phi_m = B_{\text{лдоп}} * a * b$$

$$\Phi_m = 1,5 * 10^{-3} * 10^{-2} = 1,5 * 10^{-5} \text{ Вб}$$

$$E_m = 2\pi * 4 * 4048 * 1,5 * 10^{-5} = 1,5 \text{ В}$$

$$U_m = \frac{2\pi * 4 * 4048 * 1,5 * 10^{-5} * 185}{100 + 185} = 1.2 \text{ В}$$

Отже M2:

$$M2 = \frac{4}{4\pi f} * \left(\frac{1,5^2}{2 * 210} + \frac{1,2^2}{(210 + 1414) * \cos 10} \right) = \frac{1.9 * 10^{-5}}{f} \text{ Н * м}$$

Момент M2 буде найбільшим при найменшій частоті вихідного сигналу.

					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Отже при $f = 4,5$ об/с

$$M_2 = 1,4 * 10^{-6} \text{ Н * м}$$

Розрахуємо ковзання від моменту тертя в опорах

$$S_{k1} = \frac{M_1 * SH}{\pi \rho C Q^2 D^2}$$

$$S_{k1} = \frac{0.29 * 10^{-5} * 0,0012 * 0.16}{\pi * 0.75 * 10^3 * 0.6 Q^2 * 160 * 10^{-6}} = \frac{8 * 10^{-9}}{Q^2}$$

$$f = 25Q * \left(1 - 0.1 - \frac{8 * 10^{-9}}{Q^2}\right)$$

При $Q = 0.00027 \text{ м}^3/\text{с}$

$$f = 20833 * 0,00027 * \left(1 - 0.1 - \frac{8 * 10^{-9}}{0,00027^2}\right) = 4,5 \text{ об/с}$$

Ковзання викликане моментом супротиву індукційного перетворювача

$$S_{k2} = \frac{1,4 * 10^{-6} * 0,0012 * 0.16}{\pi * 0.75 * 10^3 * 0.6 Q^2 * 160 * 10^{-6}} = \frac{4 * 10^{-9}}{Q^2}$$

$$f1 = 20833Q * \left(1 - 0.1 - \frac{8 * 10^{-9}}{Q^2} - \frac{4 * 10^{-9}}{Q^2}\right)$$

При $Q = 0.00027 \text{ м}^3/\text{с}$

$$f1 = 20833 * 0.00027 * \left(1 - 0.1 - \frac{8 * 10^{-9}}{0.00027^2} - \frac{4 * 10^{-9}}{0.00027^2}\right) = 4.78 \text{ об/с}$$

Визначимо похибку

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{f1 - f}{f_{\text{max}} - f_{\text{min}}}$$

$$\delta_{\text{пр}} = \frac{4,78 - 4,5}{5,56 - 4,5} * 100\% = 2,6\%$$

					МД.ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Опис експериментальної установки

Установка для вимірювання витрати газу зображена на рис 3.1.

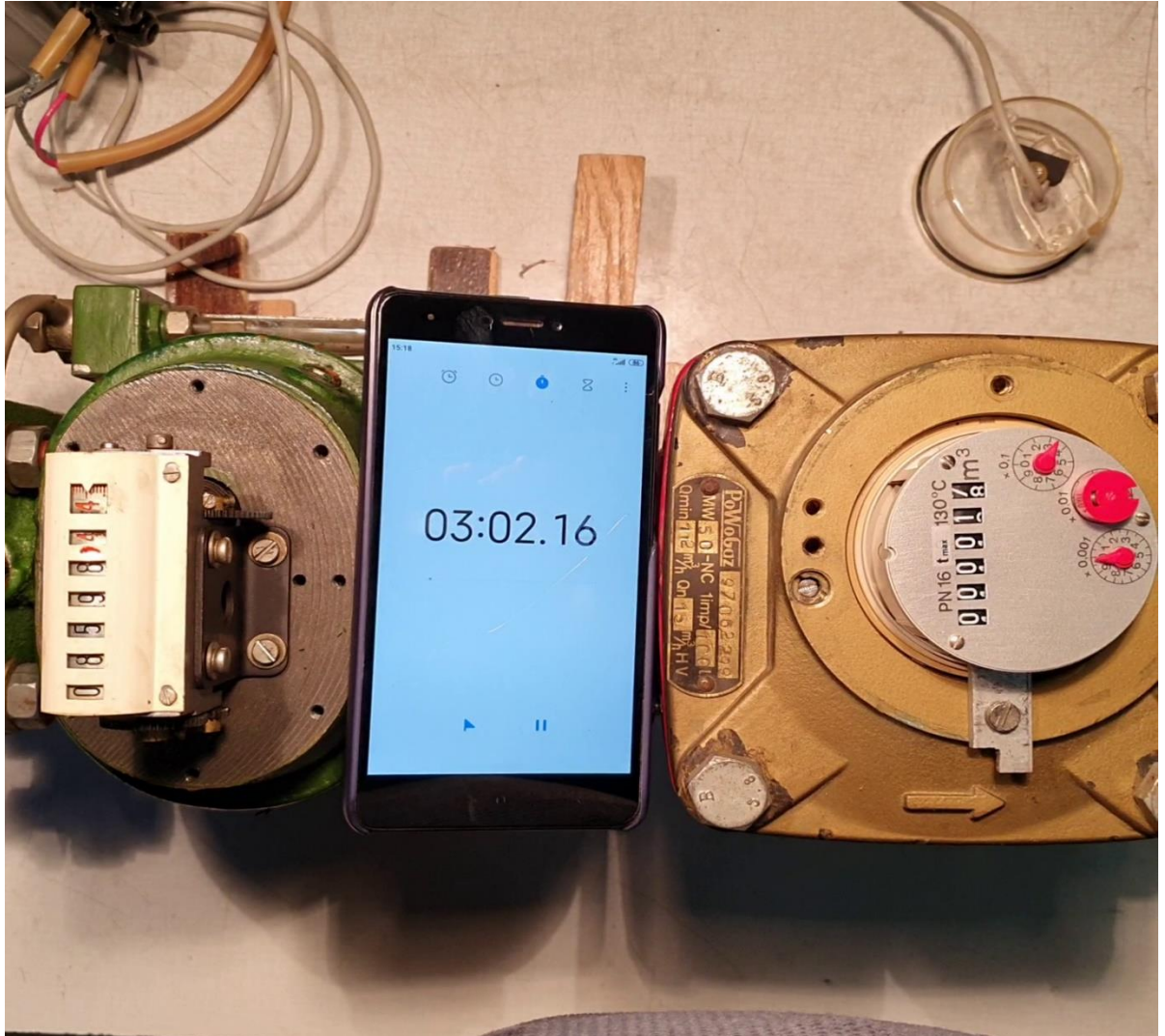


Рисунок 3.1. Установка для вимірювання витрати газу

До складу установки входять : турбінний лічильник води (на рис 3.1 праворуч), камерний лічильник газу (на рис 3.1. ліворуч), секундомір.

Для проведення експерименту обраний лічильник PWOGAZ MWN (рис. 3.2.) характеристики наведені в табл. 3.2

					МД.ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2. лічильник PWOGAZ MWN

Таблиця 3.1 Характеристики витратоміра

Характеристика			Значення
1			2
Номінальний діаметр	DN	мм	50
Номінальна витрата	Q_n	м³/год	15
Максимальна витрата	Q_{max}	м³/год	30
Перехідна витрата (холодна вода)	Q_t	м³/год	0,9
Перехідна витрата (гаряча вода)	Q_t	м³/год	1,5
Мінімальна витрата (холодна вода)	Q_{min}	м³/год	0,35
Мінімальна витрата (гаряча вода)	Q_{min}	м³/год	0,6

1			2
Перепад тиску при Q_n	P	кПа	2,1
Ціна імпульсу (для лічильників з імпульсним виходом)	-	л/імп	100
Довжина	L	мм	200
Висота	H	мм	187
Маса	-	кг	9,9

Цей лічильник призначений для вимірювання об'єму протікаючої через нього води. Габаритні розміри лічильника зображені на рис 3.3

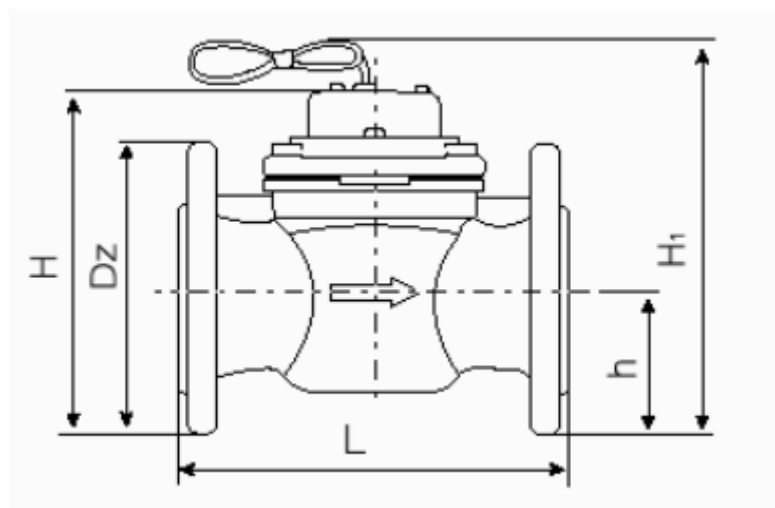


Рисунок 3.3 Габаритні розміри лічильника води

Лічильник складається з корпусу, турбіни, та відлікового пристрою.



Рисунок 3.4 Відліковий пристрій.

Відліковий пристрій окрім циферблату має вихід на який подаються імпульси пропорційні витраті.

Допустима відносна похибка становить $\pm 3\%$ - в інтервалі від Q_t (включно) до Q_{max} . Максимальний робочий тиск дорівнює 16 бар. Графік втрати тиску зображений на рис 3.5[7].

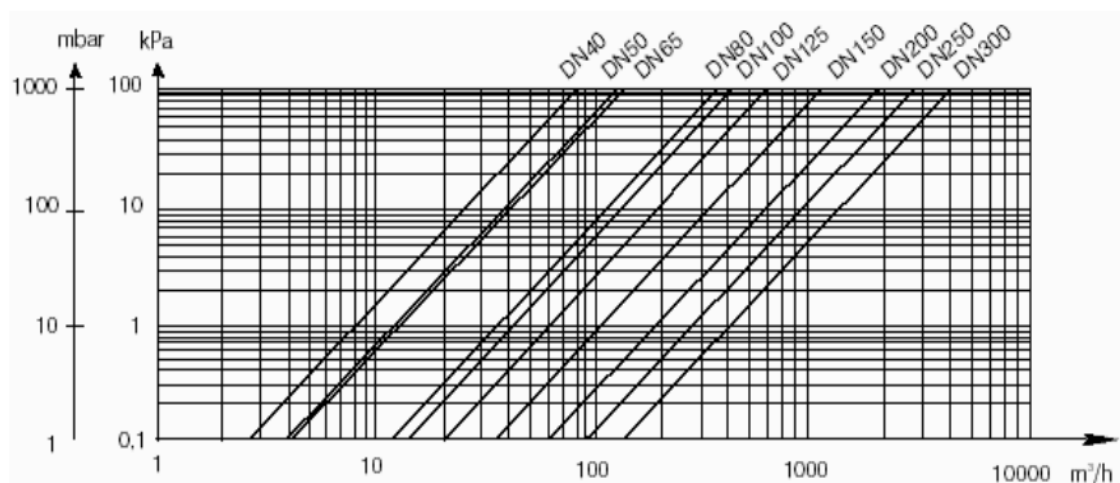


Рисунок 3.5.Графік втрати тиску

					МД.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також важливою складовою експериментальної системи при роботі з газом є лічильник РГ-40 (рис 3.6) який дозволяє контролювати витрату газу. З допомогою цих даних ми можемо звіряти роботу лічильника PWOGAZ з реальною витратою.



Рисунок 3.6 лічильник РГ-40

Цей лічильник призначений для обліку витрати неагресивних газів. Також він має вихідний низькочастотний сигнал для роботи з електронними обчислювачами. Характеристики наведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2 Характеристики РГ-40

Характеристика			Значення
Номінальний діаметр	DN	мм	50
Номінальна витрата	Q_n	м³/год	40
Максимальна витрата	Q_{max}	м³/год	65
Мінімальна витрата	Q_{min}	м³/год	0,3
Перепад тиску при Q_n	P	кПа	2,1
Довжина	L	мм	281
Висота	H	мм	160
Маса	-	кг	12

Установка для дослідження сипкого матеріалу (рис 3.7.)



Рисунок 3.7 Установка для дослідження сипкого матеріалу

До складу установки входить турбінний лічильник, бункер, тензодатчик, вагопроцесор.

Вагопроцесор WE 2110 “НВМ”(рис. 3.8.) – високоточний цифровий індикатор який використовує Сігма-Дельта АЦП, що дозволяє швидко та точно вимірювати вагу.



Рисунок 3.8. Вагопроцесор WE 2110 “НВМ”

					МД.ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Характеристики:

- підключення 8 датчиків по 350 Ом
- 3000 поділок в режимі подвійного діапазону
- виходи Rs 232/Rs-485

Тензодатчик НВМ HLC зображений на рис. 7.9.



Рисунок. 7.9 Тензодатчик НВМ HLC

Характеристики:

Максимальний вага яку може виміряти датчик – 100кг

Клас точності D1

Схема підключення зображена на рис 7.10



Рисунок 7.10.Схема підключення датчика ваги

3.2 Обробка результатів експерименту

Результати експерименту з газом наведені в таблиці 3.3

Таблиця 3.3 Результати експерименту з газовим середовищем(повітря)

Інтервал часу	Об'єм за зразковим лічильником	Об'єм за лічильником який досліджується
секунди	літри	літри
0	0	0
8,3	49	10
16,87	100	20
25,55	152	30
34,22	204	40
42,49	253	50
50,65	302	60
58,42	348	70
66,45	396	80
74,35	443	90
82,29	491	100
90,28	539	110
98,28	587	120
106,2	634	130
114,1	682	140
121,8	727	150
129,6	773	160

За отриманими даними можна розрахувати витрати за зразковим лічильником, витрати за лічильником що досліджується, відношення витрат лічильника який досліджується до витрат за показами зразкового лічильника. Результати розрахунків наведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 Розрахункові значення витрат

Витрати за зразковим лічильником	Витрати за лічильником який досліджується	Відношення витрат за показами лічильників який досліджується до витрат за показами зразкового лічильника
літри за секунду	літри за секунду	
5,9036	1,2048	0,2041
5,9510	1,1669	0,1961
5,9908	1,1521	0,1923
5,9977	1,1534	0,1923
5,9250	1,2092	0,2041
6,0049	1,2255	0,2041
5,9202	1,2870	0,2174
5,9776	1,2453	0,2083
5,9494	1,2658	0,2128
6,0453	1,2594	0,2083
6,0075	1,2516	0,2083
6,0000	1,2500	0,2083
5,9343	1,2626	0,2128
6,0759	1,2658	0,2083
5,8442	1,2987	0,2222
5,8974	1,2821	0,2174

За результатами вимірювань та обчислень можна побудувати графіки.

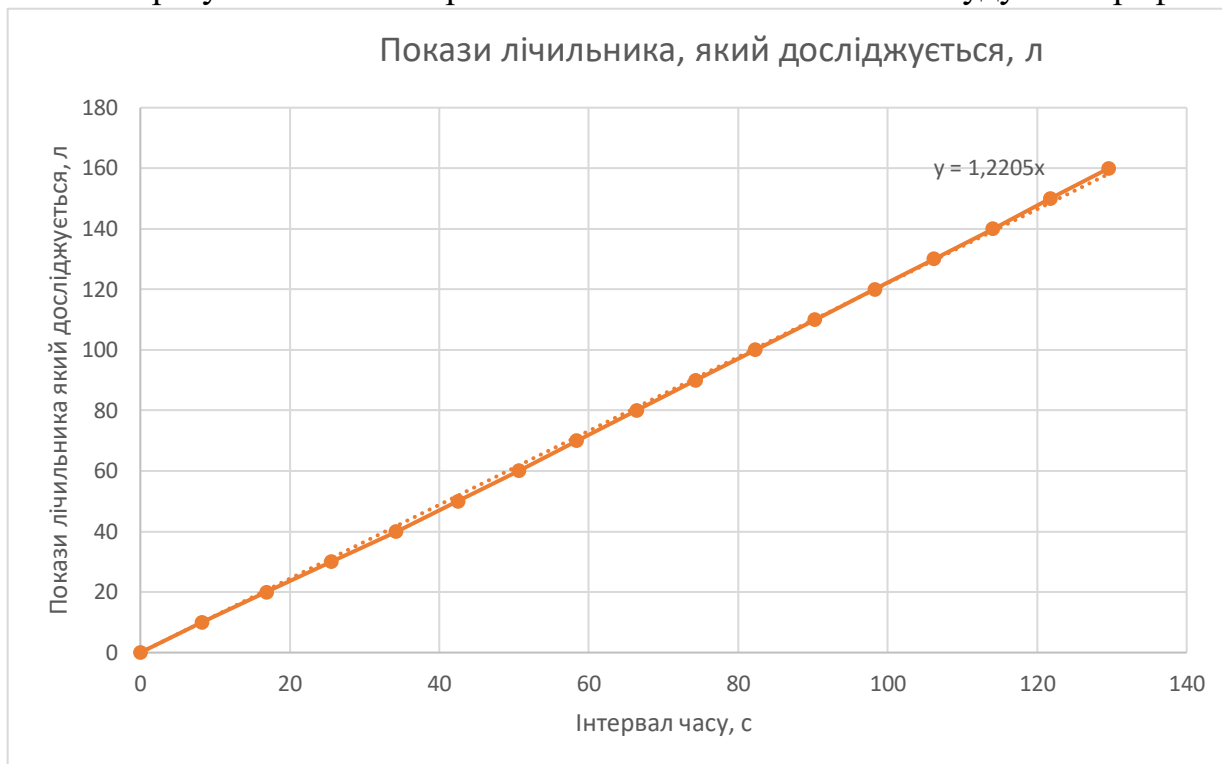


Рисунок 3.10 Графік залежності показів лічильника який досліджується від часу

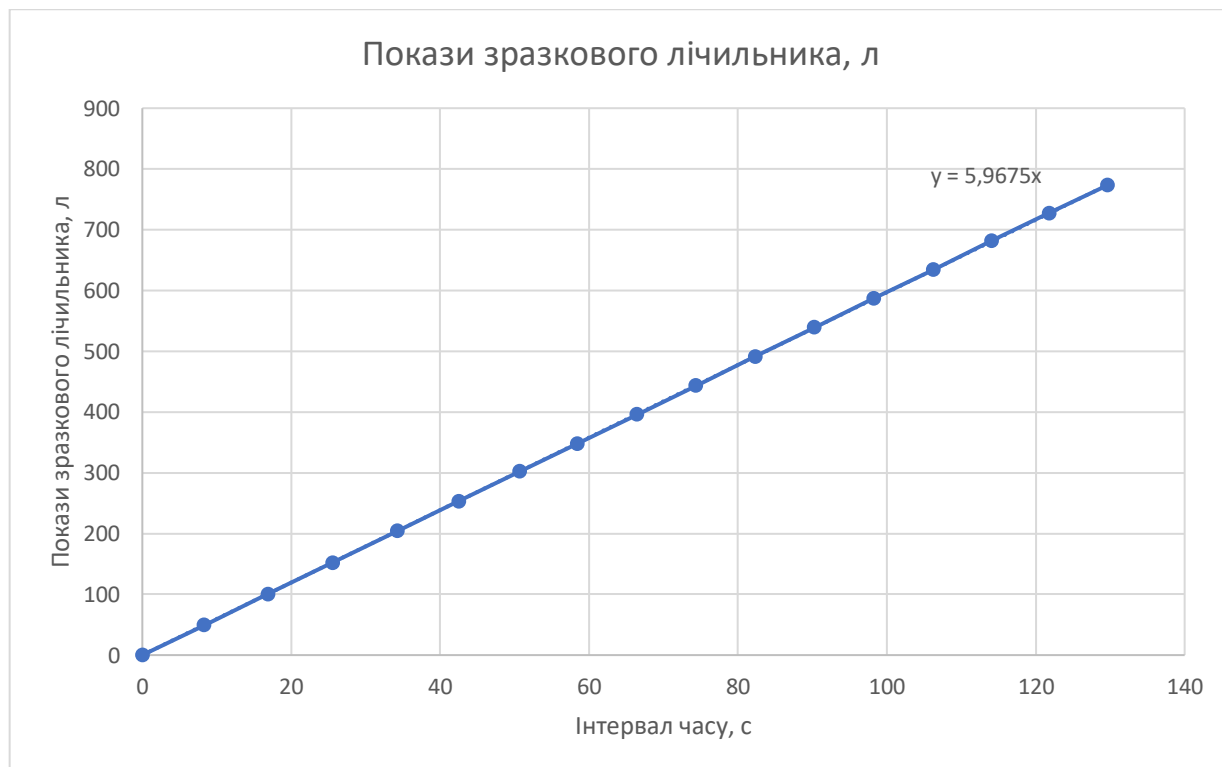


Рисунок 3.11 Графік залежності показів зразкового лічильника який часу

З наведених вище графіків можемо визначити співвідношення показів лічильника який досліджується і зразкового лічильника.

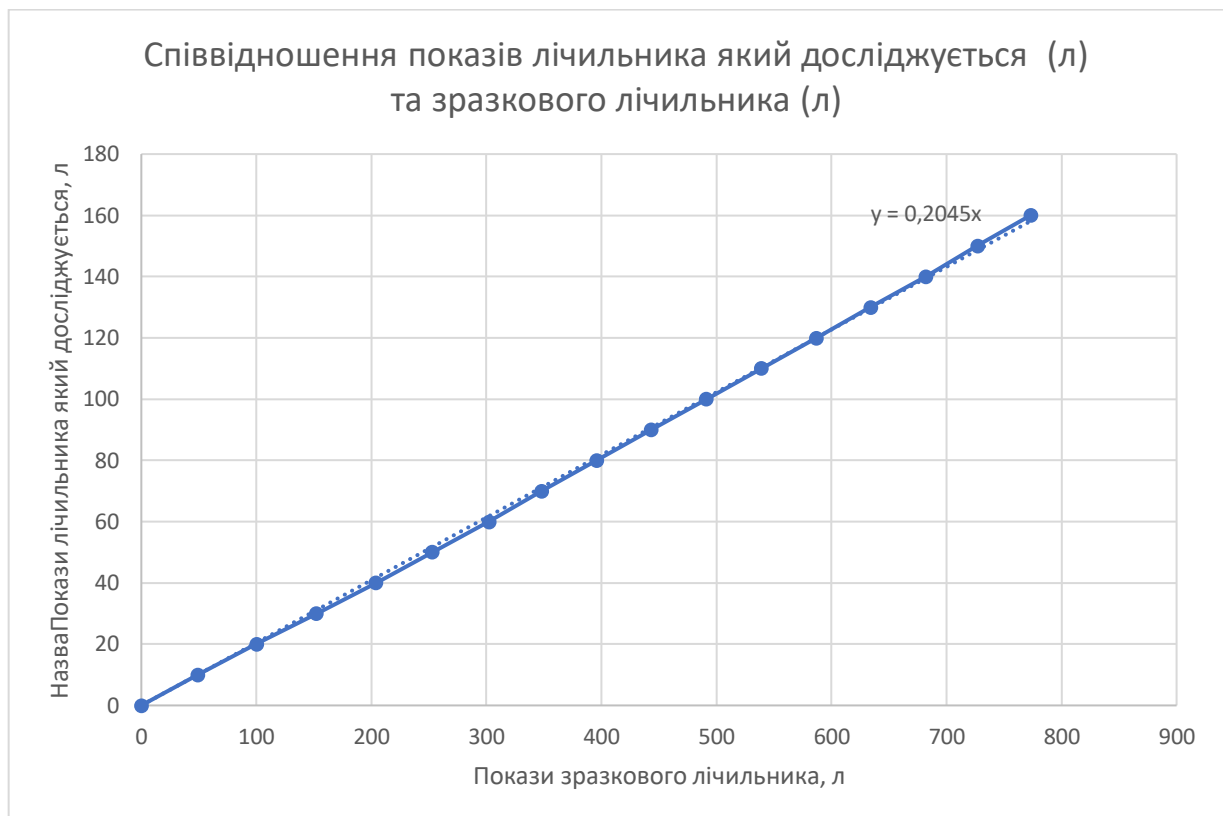


Рисунок 3.12 Співвідношення показів лічильника який досліджується (л) та зразкового лічильника (л)

Далі побудуємо графіки витрат для кожного з лічильників

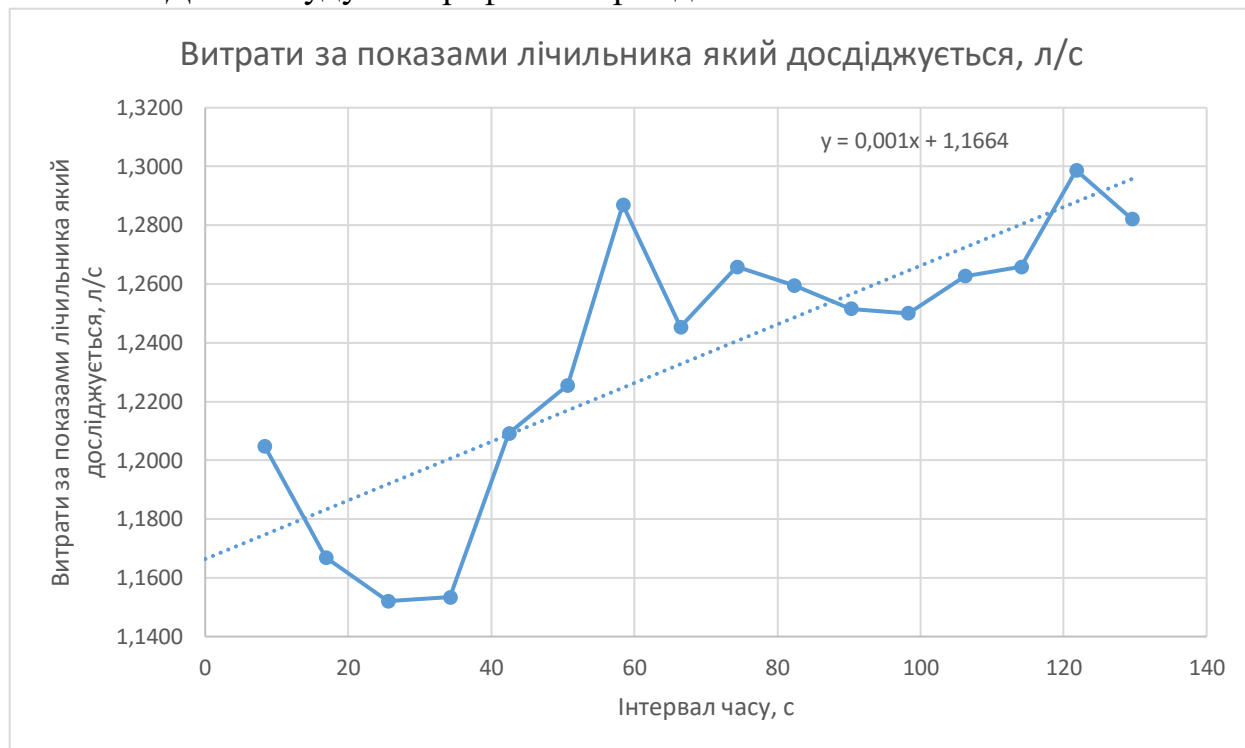


Рисунок 3.13. Витрати за показами лічильника який досліджується

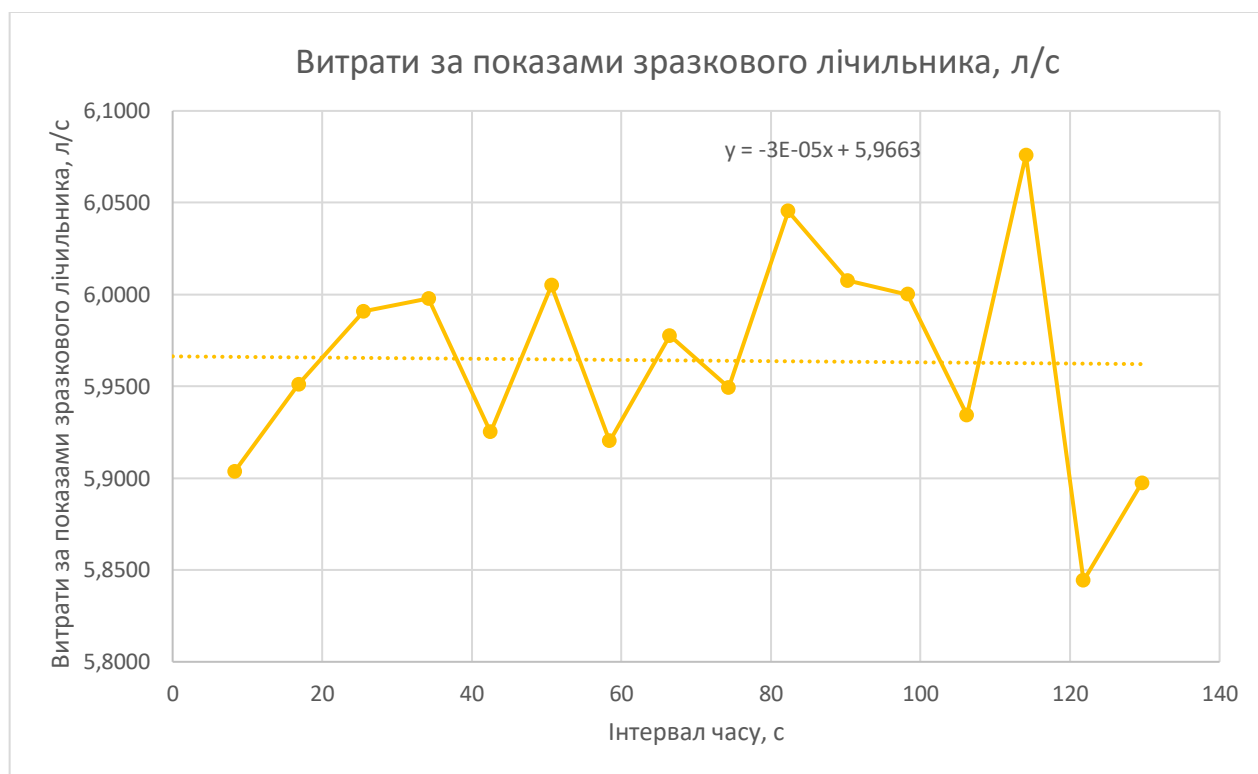


Рисунок 3.14 Витрати за показами зразкового лічильника

З графіків витрат можемо побудувати співвідношення витрат за показниками лічильника що досліджується до витрат за показниками зразкового лічильника.

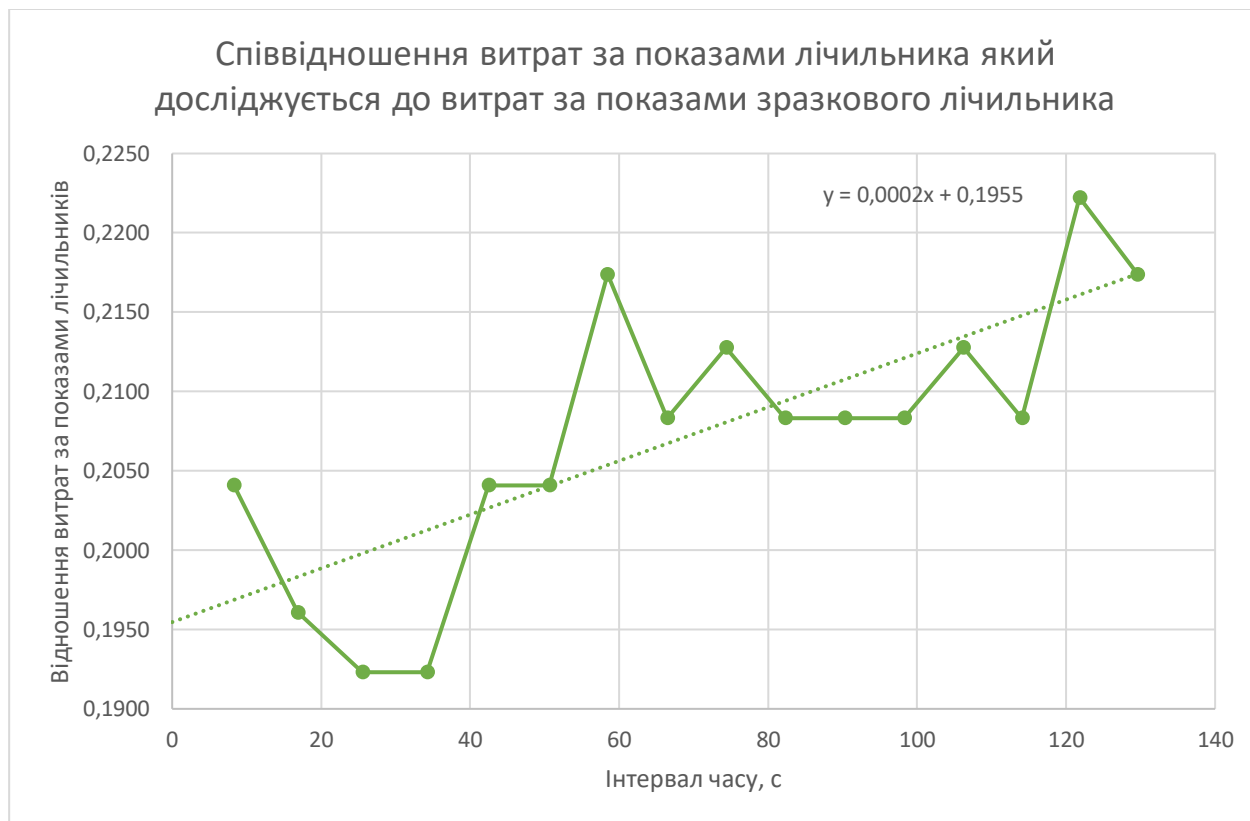


Рисунок 3.15. Співвідношення витрат за показниками лічильника що досліджується до витрат за показниками зразкового лічильника.

Дані отримані в результаті експеременту з сипким матеріалом (піском) приведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5. Результати експерименту з сипким середовищем (пісок)

Покази експериментальних приладів		
Покази секундоміра	Покази зразкового приладу	Покази лічильника який досліджується
хвилини, секунди	кг	літри
0	21	5
6,67	19,11	10
11,19	18,09	15
16,48	16,92	20
21,3	15,79	25
26,49	14,68	30
31,29	13,67	35
36,57	12,48	40
41,32	11,44	45
46,97	10,27	50
52,8	9,09	55
57,12	7,93	60
62,05	6,86	65
67,43	5,68	70
72,13	4,61	75
78,35	3,39	80
82,7	2,31	85
86,8	1	90

Аналогічно до таблиці 3.4. визначимо значення витрат. Результати обчислень наведені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Розрахункові значення витрат

Витрати за зразковим лічильником	Витрати за лічильником який досліджується	Відношення витрат за показами лічильників який досліджується до витрат за показами зразкового лічильника
літри за секунду	літри за секунду	
0,1694	0,7496	4,4259
0,1349	1,1062	8,2010
0,1322	0,9452	7,1496
0,1401	1,0373	7,4027
0,1278	0,9634	7,5360
0,1258	1,0417	8,2822
0,1347	0,9470	7,0294
0,1309	1,0526	8,0433
0,1238	0,8850	7,1496
0,1210	0,8576	7,0890
0,1605	1,1574	7,2112
0,1297	1,0142	7,8178
0,1311	0,9294	7,0890
0,1361	1,0638	7,8178
0,1172	0,8039	6,8566
0,1484	1,1494	7,7454
0,1910	1,2195	6,3855

З отриманих даних побудуємо графіки аналогічно до графіків експерменту з газом.

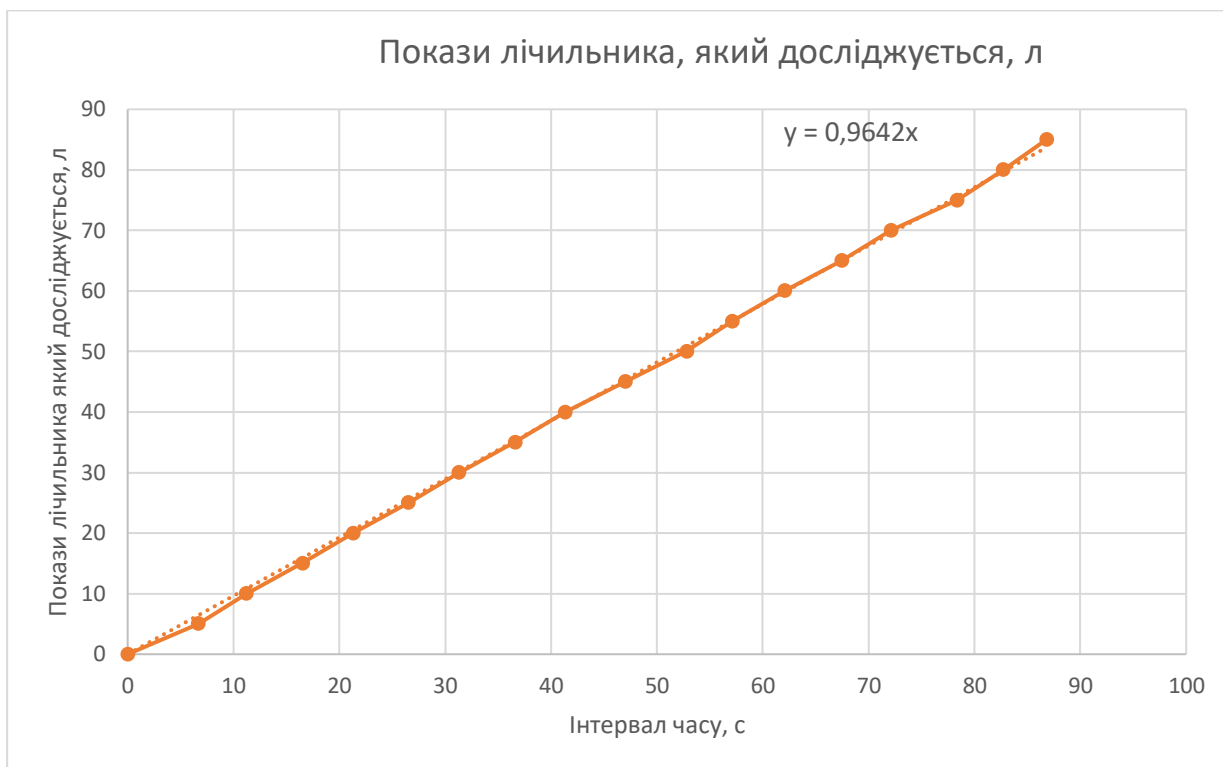


Рисунок 3.16 Графік залежності показів лічильника який досліджується від часу

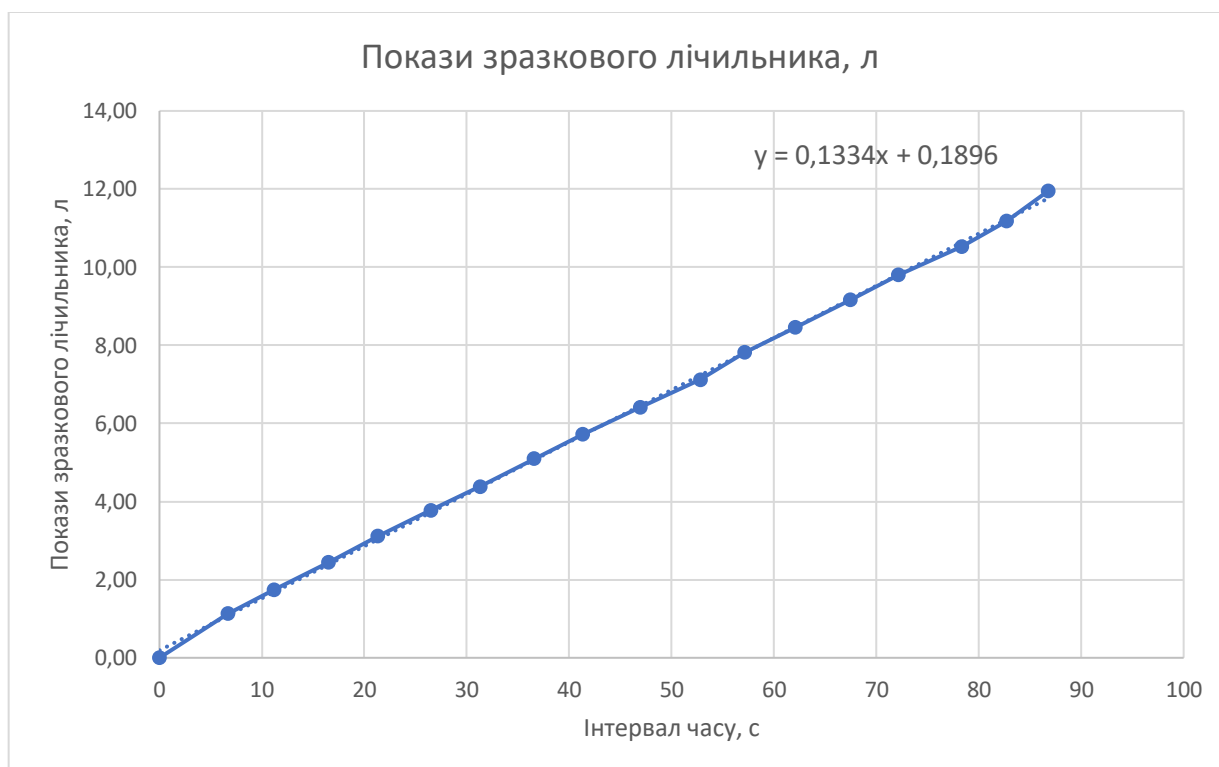


Рисунок 3.17 Графік залежності показів зразкового лічильника який часу

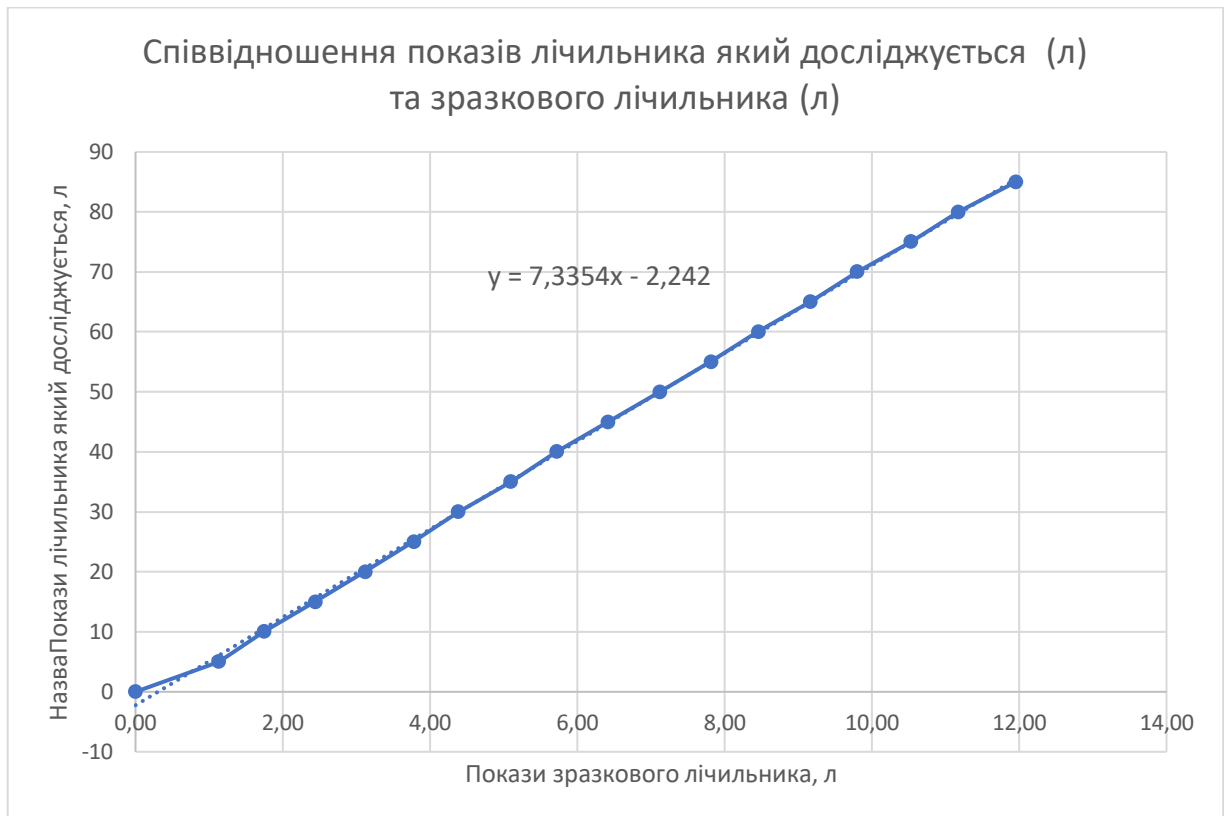


Рисунок 3.18 Співвідношення показів лічильника який досліджується (л) та зразкового лічильника (л)

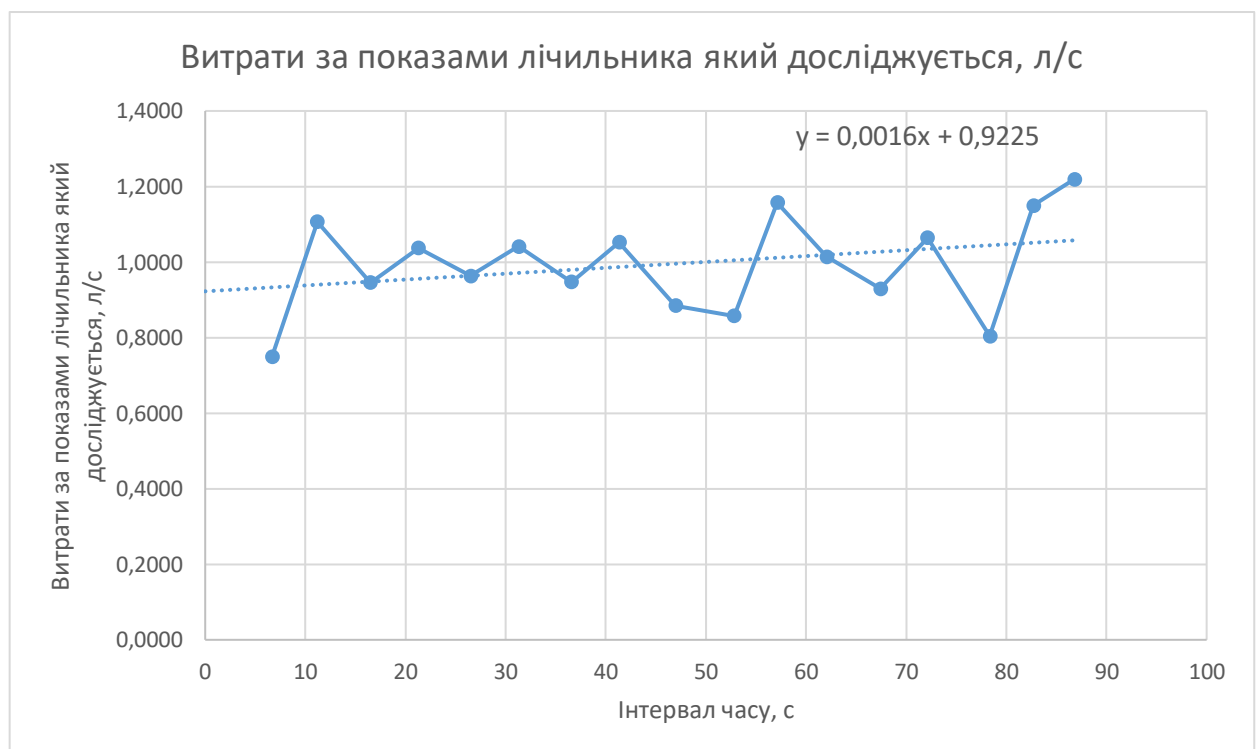


Рисунок 3.19. Витрати за показами лічильника який досліджується

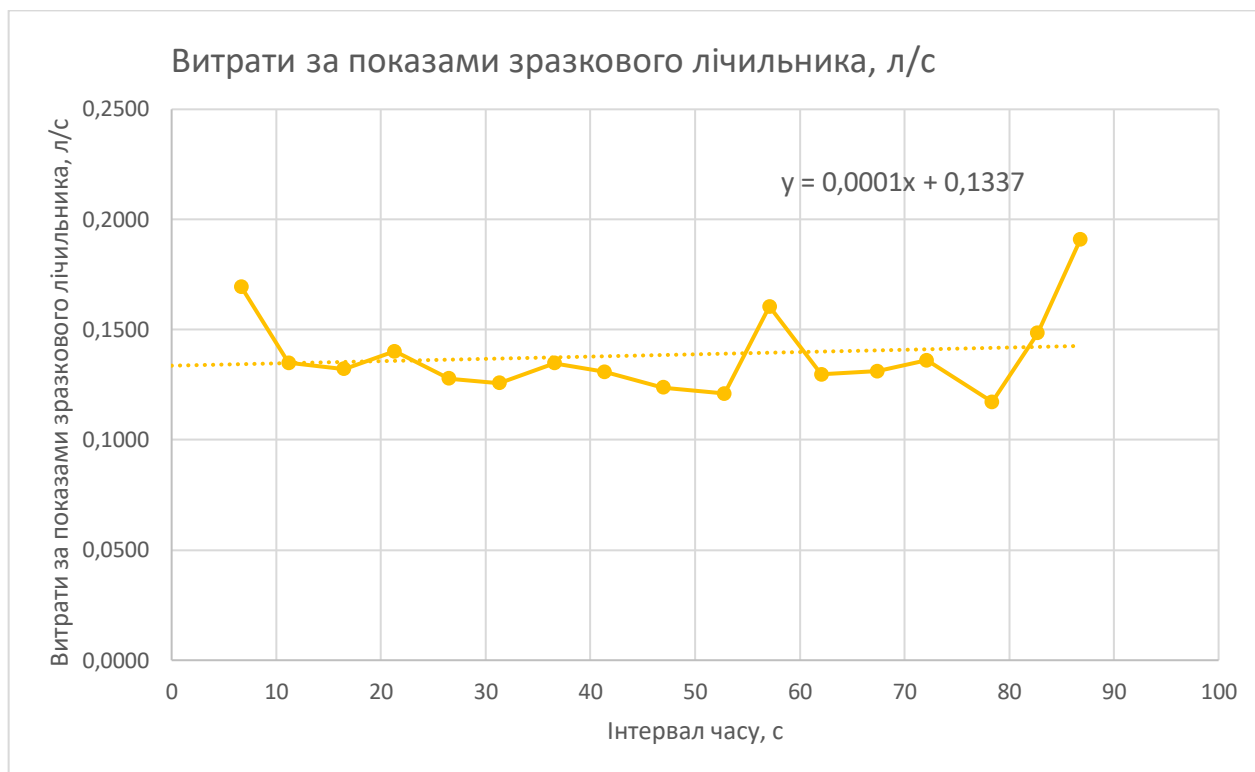


Рисунок 3.20 Витрати за показами зразкового лічильника



Рисунок 3.21. Співвідношення витрат за показниками лічильника що досліджується до витрат за показниками зразкового лічильника.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

«Витратомір сипких матеріалів»

В цьому розділі наведений маркетинговий аналіз проекту магістерської дисертації для визначення можливості виходу продукту на ринок та його реалізації. Для аналізу використаний алгоритм наведений в [4].

4.1. Опис ідеї проекту

Зміст ідеї, вигоди для користувача і напрямки застосування представлено в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка приладу який дозволяє вимірювати витрату сипких матеріалів	Металургія	1. Зменшення вартості металургічних виробів. 2. Підвищення якості виробів
	Харчова промисловість	1. Підвищення якості виробів. 2. Продовження строку дії обладнання
	Хімічна промисловість	1. Підвищення якості виробів

Отже пропонований витратомір сипких матеріалів дозволить контролювати технологічний процес виготовлення виробів в металургії, харчовій та хімічній промисловостях.

Далі проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг, визначимо чим виріб в даній роботі відрізняється від існуючих аналогів, порівняно з конкурентами.

Для цього визначимо :

- Перелік техніко-економічних властивостей та характеристик .

- Список конкурентів або аналогів чи товарів-замінників, що існують на ринку
- Порівняльний аналіз показників.

Таблиця 4.2 Визначення слабких сильних та нейтральних характеристик ідеї.

№	Техніко-економічні характеристики	Мій проект	КСК	Восток	КУРС	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	Точність	Висока	Середня	Середня	Низька			+
2	Діапазон вимірювання	Висока	Висока	Висока	Середня		+	
3	Зручність використання	Висока	Середня	Середня	Середня			+
4	Надійність	Середня	Висока	Середня	Низька		+	

З приведенного переліку сильних, слабких і нейтральних характеристик та властивостей ідеї потенційного товару можна зробити висновок, що продукт має значні переваги над конкурентами.

Для проведення технологічного аудиту необхідно зробити аналіз таких складових як:

- Технологія за якою буде виготовлений товар.
- Існування таких технологій .
- Доступність таких технологій.

Таблиця 4.3 Технологічна здійсненність ідеї проекту

Ідея проекту	Технології та реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	2	3	4
Витратомір сипких матеріалів	Синтез структурної схеми вимірювання витрати сипких матеріалів	Наявні	Доступні
	Моделювання витратоміра сипких матеріалів за допомогою CAD систем	Наявні	Доступні

1	2	3	4
	Перевірка витратоміра за різних умов роботи	Наявні	Доступні
	Виготовлення тахометричного витратоміра	Наявні	Не доступні

За проведеним аналізом можна зробити висновок що моделювання витратоміра за допомогою CAD систем є найменш затратним з можливістю розширення функціоналу витратоміра.

Далі покажемо можливість втілити ідею в життя на основі першої мінімальної версії працюючого продукту. Для цього розробимо MVP табл. 4.4.[6]

Таблиця 4.4 Формування MVP продукту стартапу

Проблема, що вирішується	Облік витрати сипких матеріалів
MVP 1	Ваговий метод вимірювання
MVP 2	Стрічковий метод вимірювання
MVP 3	Гідродинамічний метод вимірювання
MVP 4	Тахометричний метод вимірювання

Головна проблема: технологічний процес потребує обліку сипких матеріалів. З розвитком технологій з'являються нові методи вимірювання витрати сипких матеріалів.

1-й MVP: Ваговий метод вимірювання. В технологічному процесі сипкий матеріал засипався в бункер який розташований на вагах. Дані за допомогою ваг вимірювалась витрата. Проте недоліком є те , що витрату не можна вимірювати динамічно.

2-й MVP: Стрічковий метод вимірювання має схожий принцип з ваговим адже використовує ваги для вимірювання. Сипкий матеріал прямує по стрічці яка рухається. Недоліком є те що потік сипкого матеріалу не

обмежений з боків, тому потік є не стабільним і точність вимірювання малою.

3-й MVP: Гідродинамічний метод вимірювання вирішують проблему стабільності потоку адже частиною самого приладу є трубопровід по якому рухається сипкий матеріал, що дозволяє використовувати закони фізики для потоку. Проте надійність та точність такого методу досить мала.

4-й MVP: Тахометричний метод вимірювання так як і гідродинамічний маж трубопровід по якому рухається сипкий матеріал проте чутливий елемент у таких приладів відрізняється. Цей метод забезпечує досить високу точність (1,5-2%) відносно інших методів вимірювання.

4.2. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В даному розділі проводиться аналіз ринкових можливостей які можна використати під час впровадження проекту на ринок та загроз які можуть бути перешкодами для реалізації проекту. Даний аналіз дозволить зробити плани що розвитку проекту з урахуванням стану ринку, пропозицій конкурентів та потреб потенційних клієнтів. Аналіз представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№	Показник стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн./ум.од.	6000000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Конкуренція існуючих компаній
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ДСТУ 7266 Метрологія. Витратоміри швидкісні, вихрові і електромагнітні. Загальні технічні умови
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	30%

Отже через високу норму рентабельності та загальний обсяг продажів привабливість ринку є високою. Проте існують обмеження пов'язані з ДСТУ. Конкуренція не висока – 4 основних гравці.

Далі визначимо потенційні групи клієнтів , сформулюємо перелік вимог до товару для кожної з груп та визначимо характеристики груп клієнтів

Таблиця 4.6 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів.	Вимоги споживачів до товару
Моделювання витратоміра сипких матеріалів за допомогою CAD систем	Використання в хімічній , харчовій промисловості, металургії	Для хімічної Дозування компонентів для виробництва. Для харчової Запобігання зношенню обладнання при обробці сипких матеріалів. Для металургії Десульфурація металу	Точність, високий діапазон вимірювання, висока чутливість, надійність

В табл. 4.6 визначено основні цільові аудиторії: хімічна, харчова промисловості, металургія та їх головні особливості та відмінності між вимогами до витратоміра у різних груп аудиторії. Також були визначені основні вимоги до витратоміра.

Далі складемо таблицю факторів, які сприяють ринковому впровадженню проекту, і факторів що йому перешкоджають(табл. 4.7 – 4.8)

Таблиця 4.7 Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зріст конкуренції	Поява конкурентів	Покращення свого продукту
2	Технології	Винайдення нових методів вимірювання	Пошук шляхів впровадження нових методів вимірювання
3	Якість	Незадоволення якістю приладу	Покращення якості до рівня необхідного користувачу
4	Зміни в сертифікації	Зміни в ДСТУ	Реконструкція приладу для відповідності новим вимогам
5	Відсутність попиту	Ймовірність того що клієнти не будуть купувати товар	Визначення потреб клієнтів

У таблиці 4.7 описані основні види загроз. Найбільшою загрозою є зріст конкуренції. Тому потрібно завчасно займатися покращенням характеристик виробу. Інші загрози також є дуже важливими так як ігнорування цих загроз може призвести до відмови використання нашого приладу

Можливості наведені в табл. 4.8

Таблиця 4.8 Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту	Збільшення клієнтів які будуть використовувати наш витратомір	Задоволення попиту на прилад
2	Необхідність модифікацій	Потреба в унікальних можливостях приладу	Розширення функціоналу приладу
3	Нові групи клієнтів	Появі нових покупців	Визначити потреби нових клієнтів
4	Обслуговування	Можливість проведення монтажних робіт та перевірки приладу	Залучення працівників для монтажних робіт
5	Розробка веб-додатку	Підвищити якість обслуговування. Збільшення попиту	Якісне обслуговування клієнтів

У таблиці 4.8 приведені основні можливості , головна з яких збільшення попиту. Збільшення попиту призведе до збільшення кількості клієнтів що позитивно вплине на продукт.

Далі необхідно провести аналіз пропозиції в якому визначаються загальні риси конкуренції на ринку

Таблиця 4.9 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції – чиста	Не велика конкуренція	Можливість прогнозувати зміни на ринку. Можливість випереджати конкурентів шляхом покращення продукту
За рівнем конкурентної боротьби – національний	Дана продукція користується попитом в Україні	Вихід на національний ринок
За галузевою ознакою - міжгалузева	Продукт використовується в різних галузях промисловості	Відслідковування та задоволення нових потреб груп клієнтів
Конкуренція за видами товарів – товарно-видова	Конкуренція товарів одного виду	Задоволення потреб клієнтів.
За характеристиками конкурентних переваг – цінова	Зміна ціни при виборі користувачем функціональних особливостей	Пошук постачальників які пропонують меншу ціну на компоненти приладу
За інтенсивністю - марочна	Конкурентні компанії не пропонують подібний продукт	Створення власного фірмового ім'я

В табл. 4.9 приведений аналіз основних рис конкуренції на ринку та їх вплив на діяльність підприємства, і також наведені можливі дії компанії щоб бути конкурентоспроможною. Ми визначили що конкуренція в галузі є не великою також продукт можна використовувати в різних галузях промисловості.

Далі треба провести аналіз умов конкуренції в галузі (за моделлю М.Портера) (табл.4.10)

Таблиця 4.10 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замітники
	«КСК» «ВОСТОК»	«КУРС»	«КУРС»	Хімічна, харчова промисловості, металургія	Створення іншого витратоміра сипким матеріалів
Висновки	Незначна конкуренція	Є можливість виходу на ринок	Постачальник не диктує умови на ринку	Клієнти можуть диктувати свої умови в залежності від технологічного процесу	Обмеження не буде адже товари – замітники працюють за іншим методом вимірювання

Проаналізувавши табл. 4.8 можна сказати що на ринку можна працювати адже конкурентів не багато. Можливі специфічні умови для різних груп споживачів. Товари-замінники не можуть в повній мірі задовольнити потреби клієнтів .

На основі аналізів проведених вище визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності табл. 4.9.

Таблиця 4.11. Обґрунтовується факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Точність	Висока точність вимірювання
2	Діапазон вимірювання	Широкий діапазон вимірювання
3	Зручність використання	Можливість встановлення в важкодоступних місцях
4	Надійність	Довгий строк служби приладу

З табл. 4.11. можна зробити висновок що основними факторами конкурентоспроможності є точність, діапазон вимірювання , зручність використання, надійність.

Далі проведемо аналіз сильних та слабких сторін витратоміра сипучих матеріалів табл 4.12.

Таблиця 4.12. Аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність	15	+						
2	Діапазон вимірювання	17			+				
3	Зручність використання	15	+						
4	Надійність	19					+		

Отже при порівнянні приладу з конкурентами були визначені такі сильні сторони як: точність, діапазон вимірювання, зручність використання. До слабких сторін можна віднести надійність.

Останнім етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT – аналізу табл.4.13

Таблиця 4.13 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Зростання попиту Модифікація Нові групи клієнтів Обслуговування	Слабкі сторони: Зріст конкуренції Технології Якість Сертифікація Відсутність попиту
Можливості: Збільшення клієнтів та груп користувачів Покращення характеристик приладу Можливість проведення монтажних робіт. Покращення підтримки клієнтів	Загрози: Недостатня якість Кращі умови від конкурентів, невідповідність сертифікатам Відсутність клієнтів. Винайдення нових методів вимірювання

Провівши SWOT – аналіз визначені можливості , загрози які передбачаються сильними та слабкими сторонами. Загрози присутні, адже так як чутливий елемент приладу контактує з потоком, з часом це може призводити до погіршення характеристик приладу або виходу його з ладу. Клієнти можуть відмовитись від товару при кращих умовах від конкурентів, у випадку невідповідності сертифікатам якості . Проте продукт має можливості збільшити число клієнтів та груп користувачів. Також є можливість для підтримки клієнтів шляхом проведення ремонтних та монтажних робіт.

За SWOT- аналізом визначимо альтернативи ринкової поведінки для виходу стартап проекту на ринок.

Таблиця 4.14 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Імовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Покращення надійності	Середня	6 міс.
2	Підвищення міжповітряних інтервалів	Низька	5 міс

Провівши аналіз (табл. 4.14) обираємо альтернативу – покращення надійності через найвищу ймовірність отримання ресурсів, а також через те, що надійність головний недолік приладу.

4.3 Розробка ринкової стратегії проекту

Першим кроком для розроблення ринкової стратегії є визначення стратегії охоплення ринку – опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.15)

Таблиця 4.15. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Металургія	Висока	Високий	Інтенсивна	Низька складність
2	Хімічна промисловість	Середня	Високий	Середня інтенсивність	Середня складність
3	Харчова промисловість	Середня	Середній	Не інтенсивна	Висока складність

Після того як ми провели опис цільових груп можна обрати цільові групи. Так як металургія та хімічна промисловість мають високий попит на не високу складність входу у сегмент обираємо металургію та хімічну промисловість.

Для роботи в обраних сегментах необхідно сформулювати стратегію розвитку (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Підвищення надійності	Стратегія диференційованого маркетингу	Підбір кращих матеріалів приладу для забезпечення надійності	Стратегія диференціації

В якості базової стратегії розвитку було стратегію диференціації, яка передбачає надання унікальних властивостей продукту за вимогою користувача, що робить продукт особливим на відміну від конкурентів.

Далі виберемо стратегії конкурентної поведінки. Для цього необхідно відповісти на запитання наведені в таблиці 4.17

Таблиця 4.17. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проект не є першопрохідцем	Компанія буде забирати існуючих споживачів та шукати нових	Копіювати не буде	Стратегія виклику лідера

Обрана стратегія конкурентної поведінки – стратегія виклику лідера.

Вона полягає в тому, що необхідно протистояти лідеру та виробляти кращий продукт, який може зайняти найвищу позицію на ринку.

Далі на основі вимог споживачів до продукту створюється стратегія позиціонування (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 Стратегія позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Точність	Стратегія диференціації	Висока точність	Стабільність показників, високий запас надійності
2	Діапазон вимірювання	Стратегія диференціації	Широкий діапазон вимірювання	Стабільність показників на всьому діапазоні вимірювання, високий запас надійності
3	Ціна	Стратегія диференціації	Доступна цінова політика	Якість, гарантія, обслуговування

Отже компанія працюватиме за диференційною стратегією та стратегією зайняття конкурентної сфери. Ринок готовий сприйняти товар та не має

великої складності до виходу на ринок, так як на ринку присутня мала кількість конкурентів.

4.4. Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Для початку необхідно сформулювати маркетингову концепцію продукту, який отримає споживач. Для цього необхідно підсумувати результат аналізу конкурентоспроможності товару

Таблиця 4.19 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги
1	Потреба точному вимірюванню витрат сипких матеріалів	Витратомір має високу точність при вимірюванні витрат сипких матеріалів	Висока точність на всьому діапазоні вимірювання

У споживача є головна перевага – точність вимірювання витрати сипких матеріалів. Конкуренти не можуть запропонувати таку точність.

Далі необхідно розробити три рівневу маркетингову модель товару (табл. 4.20)

Таблиця 4.20 Опис трьох рівнів моделі товару.

Рівні товару	Сутність та складові		
1. Товар за задумом	Товар має можливість точно вимірювати витрату сипких матеріалів на широкому діапазоні вимірювання.		
2. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Висока точність	1. 2.3%	3. Тх
	2. Діапазон вимірювання	2. 1-100 м ³ /год	4. Тх
	3. Ціна	3. 1000 ум.од	5. Тх
			4. Е
	Якість : Сертифікати відповідності ДСТУ		
	Марка: проект «Витратомір сипких матеріалів»		
3. Товар з підкріпленням	До продажу: Підбір витратоміра під трубопровід		
	Після продажу: перевірка, обслуговування		
Товар буде захищено патентом			

В таблиці 4.20 ми отримали опис трьох рівнів моделі за якими ми можемо прийти до висновку щодо призначення товару. Також товар повинен буди захищений за допомогою патентування.

Далі проводиться визначення цінових меж для встановлення ціни на товар.(табл. 4.21)

Таблиця 4.21 визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межа встановлення ціни на товар
1	900-3500 ум.од	700-4000 ум.од	10000-20000 ум.од	Нижня межа: 950 ум.од Верхня межа: 4000 ум.од

Встановлена ціна на продукт 950 – 4000 ум.од. Така ціна відповідає характеристикам товару і є рівною ціні на товари конкурентів. Також з огляду на рівень доходів цільової групи споживачів ціна для них є доступною.

Далі виконаємо визначення оптимальної системи збуту(табл. 4.22) в межах якої приймається рішення.

Таблиця 4.22. Формування системи збуту.

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Замовлення заздалегідь	Встановлення приладу в трубопровід	Прямий	Прямий

У таблиці 4.23 видно що використовувати прямий канал збуту буде найбільш вигідним через компанії. Також це надає змогу контролювати ціну.

Проведемо розробку концепції маркетингових комунікацій.

Таблиця 4.23 Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Отримання товару, який би відповідатиме специфічним умов роботи	Мобільний зв'язок, інтернет.	Точність, широкий діапазон вимірювання, Стабільність показань	Розповсюдження інформації про товар	Повідомлення про високу точність та широкий діапазон вимірювання

Концепція маркетингової комунікації спрямована на залучення нових клієнтів за допомогою реклами, мобільного зв'язку та інтернету.

Далі проведемо оцінювання вартості стартапу. Для цього необхідно зробити оцінювання факторів успішності стартапу (табл. 4.). Показник фактору розраховується як добуток максимального значення фактору на значення фактору стартапу [6].

Таблиця 4.24 Оцінка факторів успішності стартапу.

Фактори для порівняння	Діапазон	Стартап, у який заплановано інвестиції	Фактор
Розмір ринку	20% max	125%	0.25
Сила управлінської команди	30% max	125%	0.375
Продукт і технологія	15% max	100%	0.15
Конкурентне середовище	20% max	150%	0.30
Необхідність у додаткових раундах фінансування	5% max	100%	0.05
Маркетинг, канали продажів, партнерство	10% max	100%	0.1
Разом			1.225

Підсумуючи показник фактору визначимо вартість стартапу як добуток суми вартості стартапу на середню оцінку.

Вартість стартапу = 1,225*400 тис. дол. = 490 тис дол.

					МД.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5. Висновки до розділу

Розробляючи стартап-проект були виконані етапи необхідні для аналізу ринку , вибору стратегій для впровадження продукту на ринок. Також була проведена оцінка ризиків .

В ході роботи було визначено що попит на товар є в декількох галузях таких як харчова , хімічна промисловості, металургія.

Провівши аналіз усіх можливостей запуску на ринок, мною було виявлено те, що ринок є привабливим для товару. Також було визначено основний ризик для ідеї - конкуренція, та визначено можливу реакцію компанії - покращення надійності витратоміра сипких матеріалів. Основна можливість була обрана, як збільшення попиту, що може призвести до подальшого збільшення клієнтів, а для забезпечення цього, можлива реакція компанії, покращення характеристик приладу. Проводячи аналіз усіх рис конкуренції на ринку, можемо сказати, що конкуренція не великою, існують виходи на національний ринок, використання товару повністю можливе у різних сферах. При подальшому аналізі бачимо, що товари-замінники не зможуть повністю задовольнити потреби клієнтів. Також було розроблено аналіз сильних та слабких сторін, до сильних сторін відносяться точність діапазон вимірювання, слабкі сторони – надійність .

Розроблена ринкова стратегія проекту а також обрані цільові групи – металургія та хімічна промисловість. Також було диференціацію як основну стратегію розвитку.

Після розробки маркетингової програми проекту було встановлено межі цін на товар. Також визначені фактори успішності стартапу за допомогою яких було визначено вартість стартапу яка дорівнює 400 тис.дол.

Отже можна зробити висновок що товар доцільний для використання

					МД.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В дисертації виконані всі пункти завдання на магістерську дисертацію.
2. Проаналізована ідеальна математична модель руху турбіни витратоміра-лічильника з аксіальною турбінкою.
3. Проаналізована математична модель руху турбіни витратоміра-лічильника при наявності сил тертя.
4. Проаналізована можливість застосування математичної моделі руху турбіни для газів, рідин та сипучих матеріалів.
5. Проведені експериментальні дослідження роботи турбінного витратоміра-лічильника при різних вимірювальних середовищах таких як рідина (гаряча вода), газ (повітря) та сипкий матеріал (пісок).
6. Обробка даних експериментальних досліджень ймовірністними методами показала адекватність теоретичної моделі руху турбіни для газових та рідинних середовищ.
7. Обробка даних дослідження вимірювання витрат (кількості) сипких середовищ встановили, що теоретична модель руху турбіни для газових та рідинних середовищ не відповідає теоретичній моделі руху турбіни для сипкого середовища.
8. Аналіз експериментальних результатів для сипкого середовища вказує на невиконання при русі сипких матеріалів рівняння

					МД.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нерозривності потоку.

9. Експериментальні дослідження показали , що математична модель для газового та рідинного середовища, у випадку використання сипкого середовища , може бути використана для розрахунку витратоміра-лічильника з аксіальною турбіною як вимірювача швидкості потоку.

10. Розроблений стартап проект доводить можливість успішного виходу товару на ринок. Проведені оцінки вартості стартапу та аналіз сильних та слабких сторін конкурентів (конкурентних методів вимірювання) показують можливість реалізації проекту за короткий проміжок часу.

					МД.ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Кремлевский Расходомеры и счетчики количества: Справочник – 4-е изд, перерб. и доп.-Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989 – 701с
2. Бошняк Л. Л., Бызов Л.Н. Тахометрические расходомеры. Л.: Машиностроение, 1968. 212с.
3. Мартинюк Є.В. Коробко І.В. Комплекс витрати природного газу, 2019 - 55с
4. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с
5. ГОСТ 8338-75. Подшипники шариковые радиальные однорядные. Основные размеры
6. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерноінтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційновимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: X,XX Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с.
7. Лічильники гарячої та холодної води турбінні, модель MWN (MWN-NK, NKP, NKOP) Ду 50 – 250мм[Електронний ресурс]: режим доступу <http://www.ktto.com.ua/uploads/vdm-2-2013-07-20-00-02-48.pdf>
8. Черноусь Р.С. СПОСОБ КОНТРОЛЯ РАСХОДА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ПО ТОКУ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА - Барнаул 2016- 157 с.
9. Приладобудування та автоматизація. Терміни і визначення. Ч.1 [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студ. спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітня програма «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів», 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка», освітня програма «Інформаційновимірювальні системи та технології в приладобудуванні» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. О. К. Нікітін, В. М. Зайцев, Т. О. Толочко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,29 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 203 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30404>
10. Магістерська дисертація: організація, вимоги до структури, змісту та оформлення [Електронний ресурс] : навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за освітньо-професійними програмами спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / КПІ ім. Ігоря

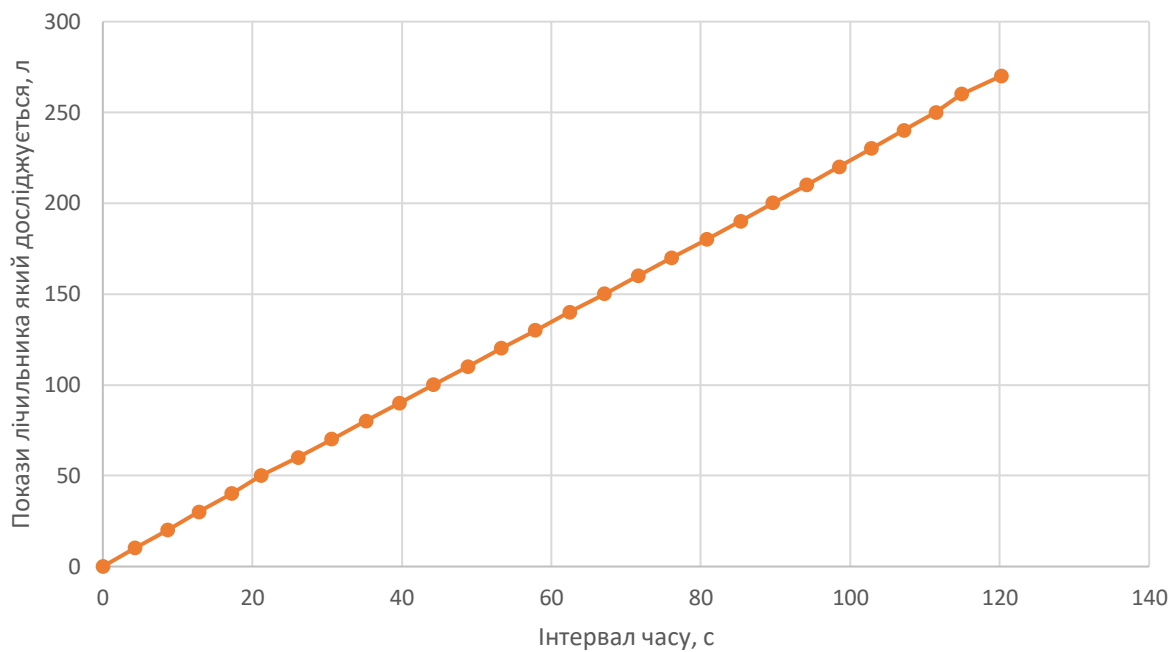
					МД.ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сікорського ; уклад.: О. К. Нікітін, В. М. Зайцев. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,09 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 106 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30397>.

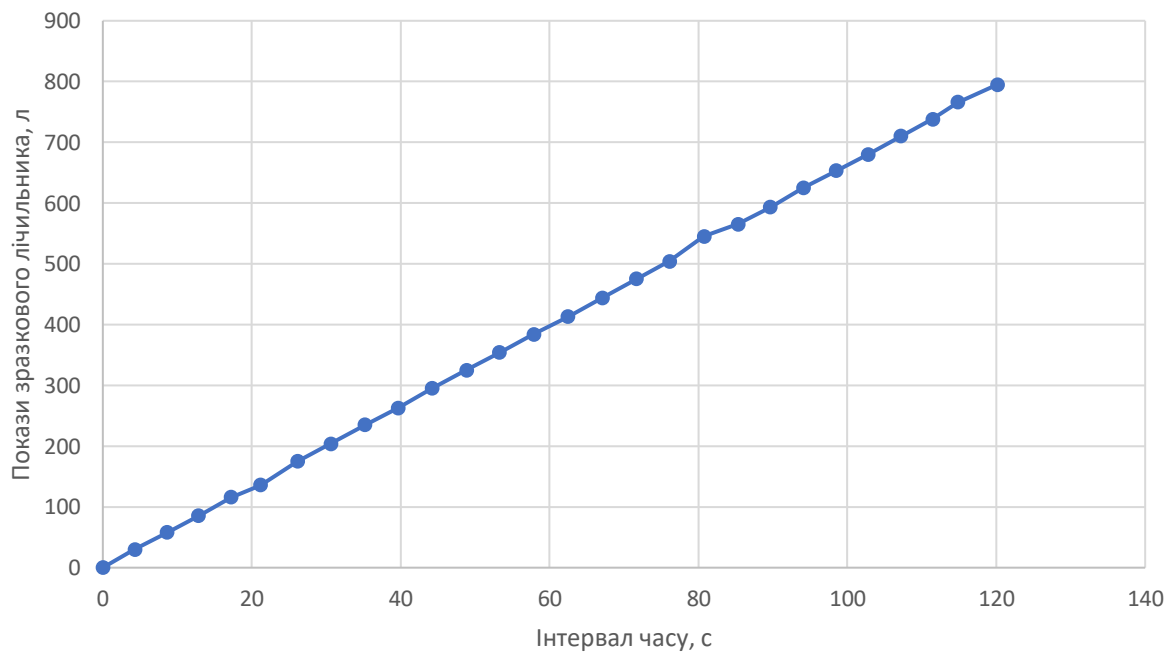
					МД.ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А

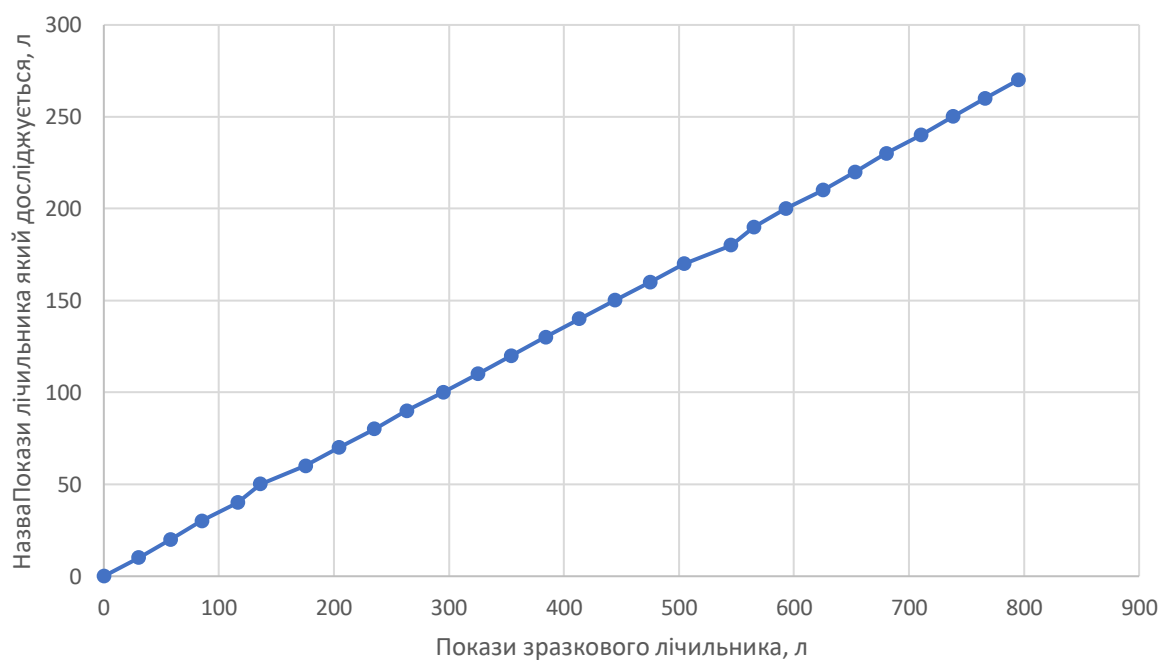
Покази лічильника, який досліджується, л



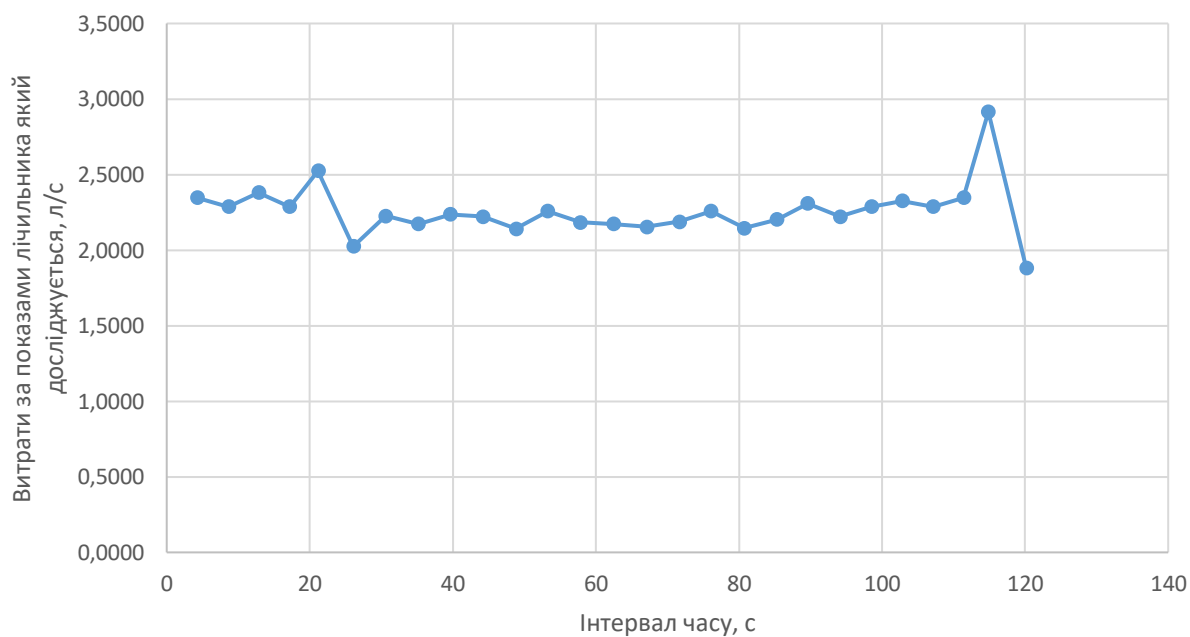
Покази зразкового лічильника, л



Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с

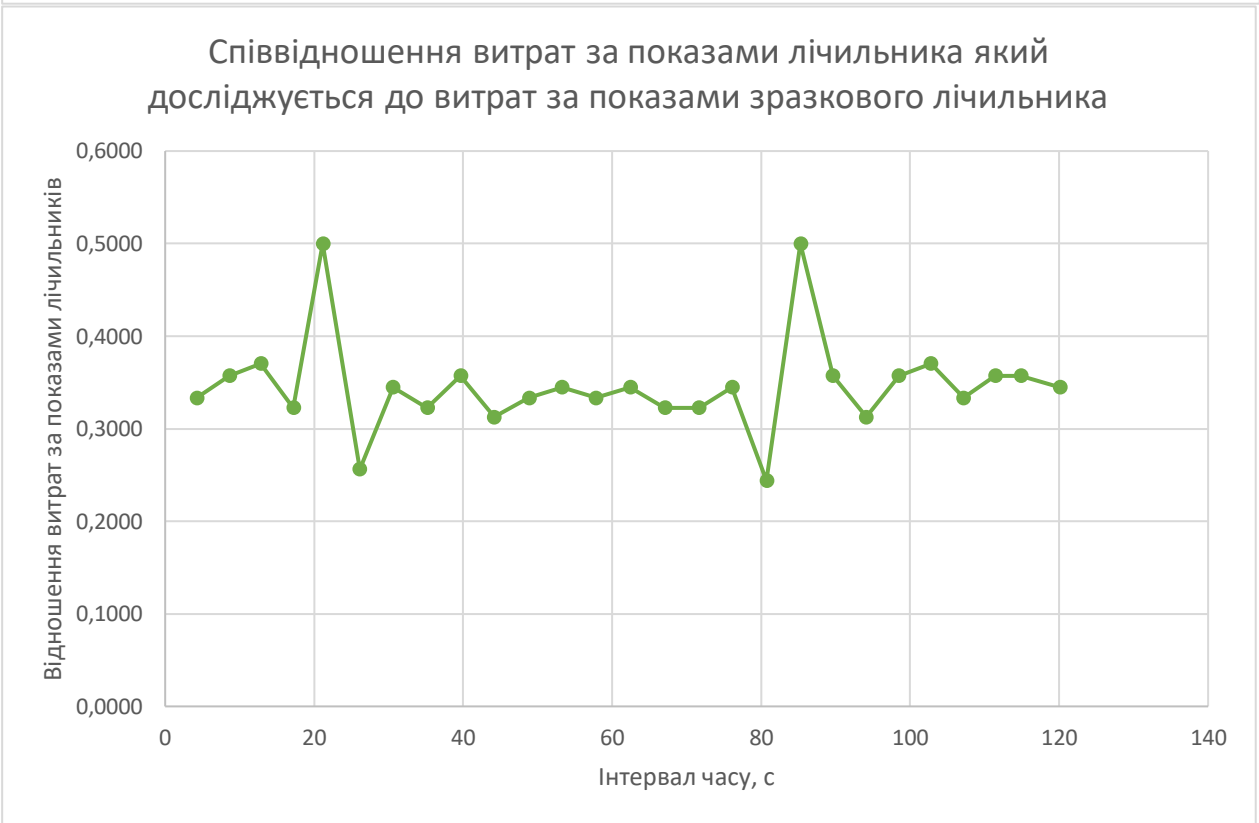
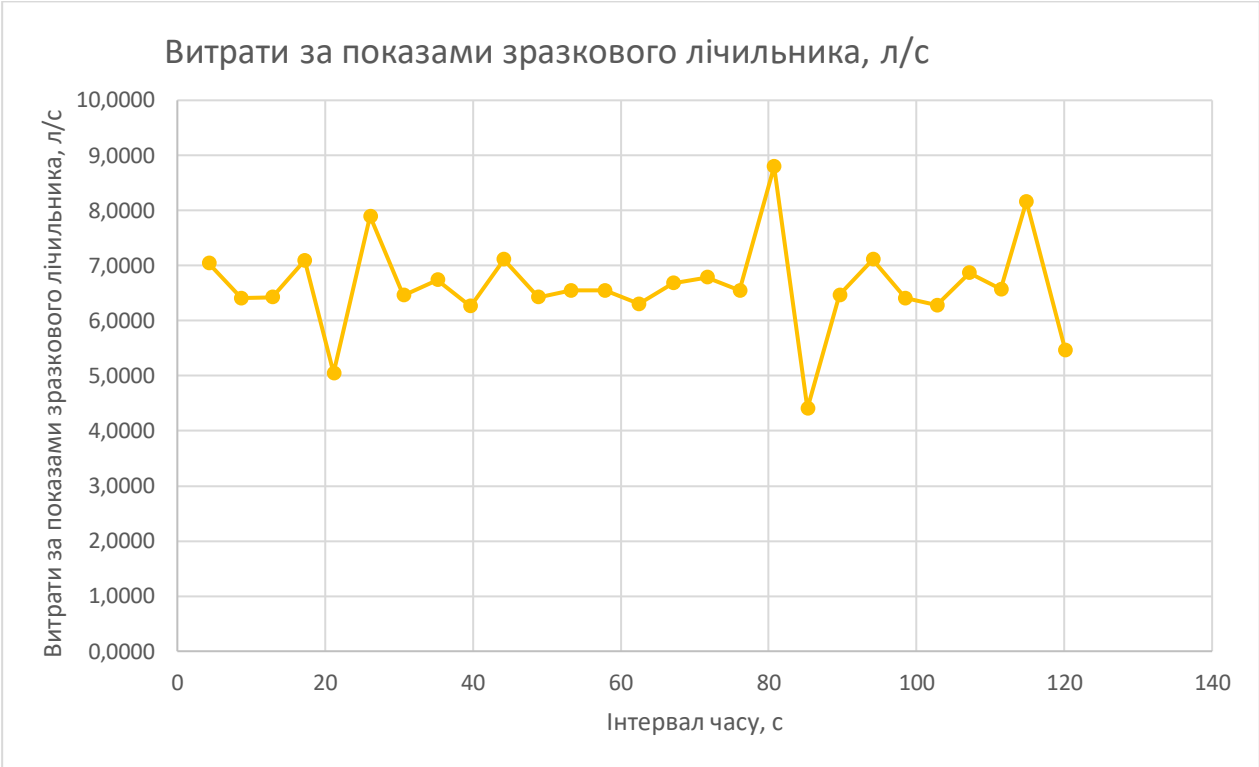


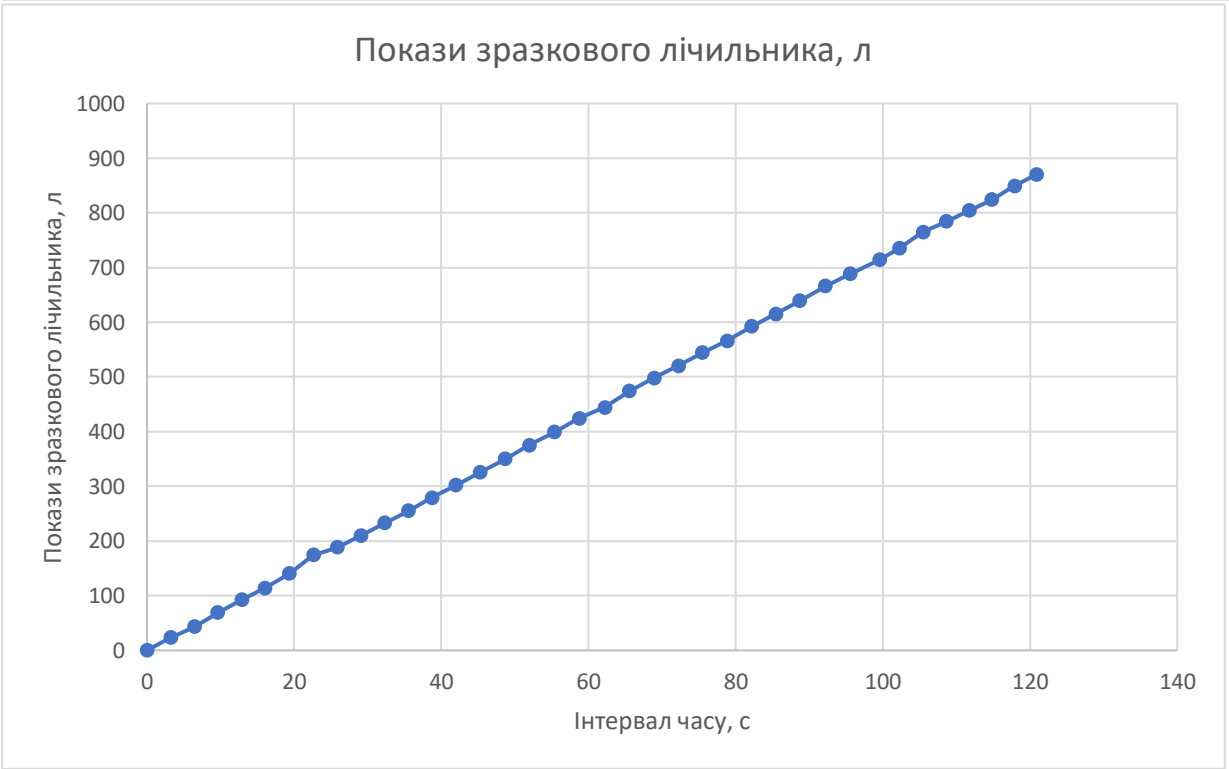
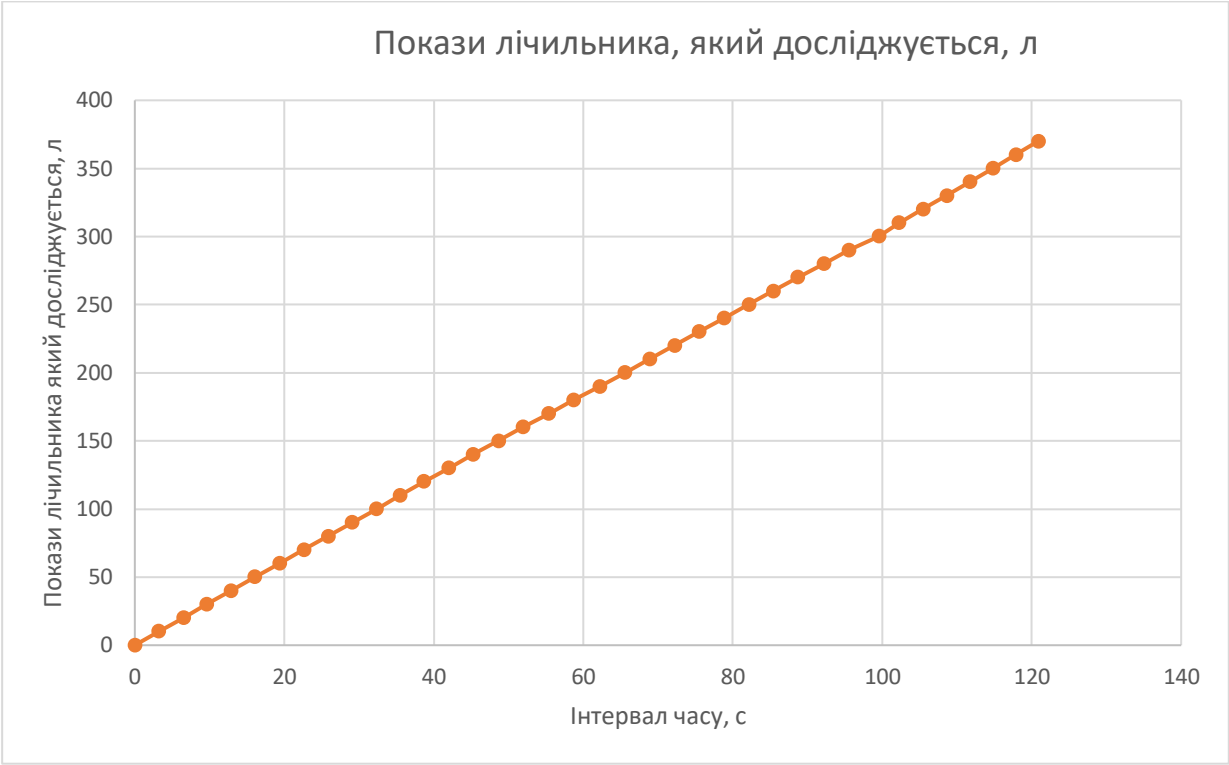
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

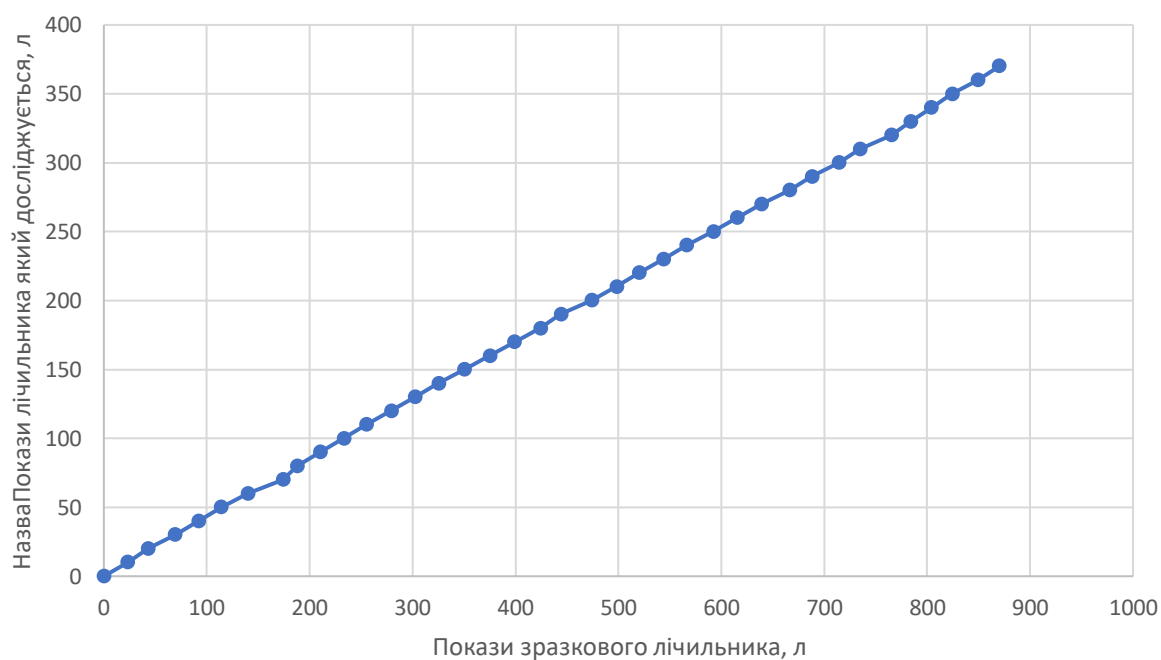
Арк.

95

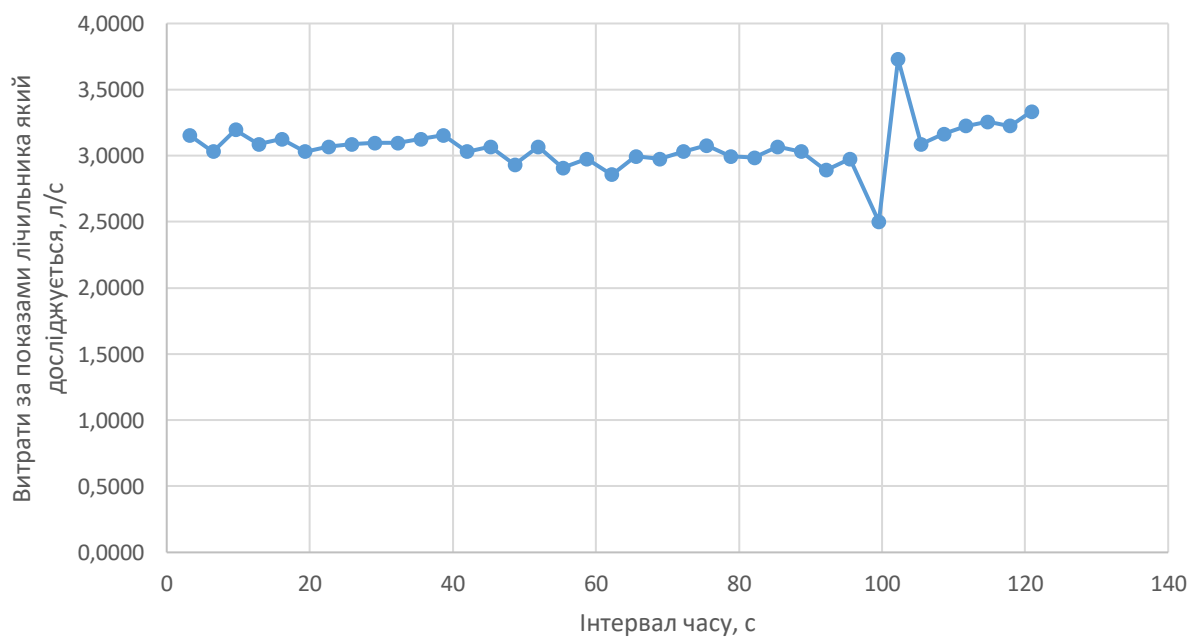




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



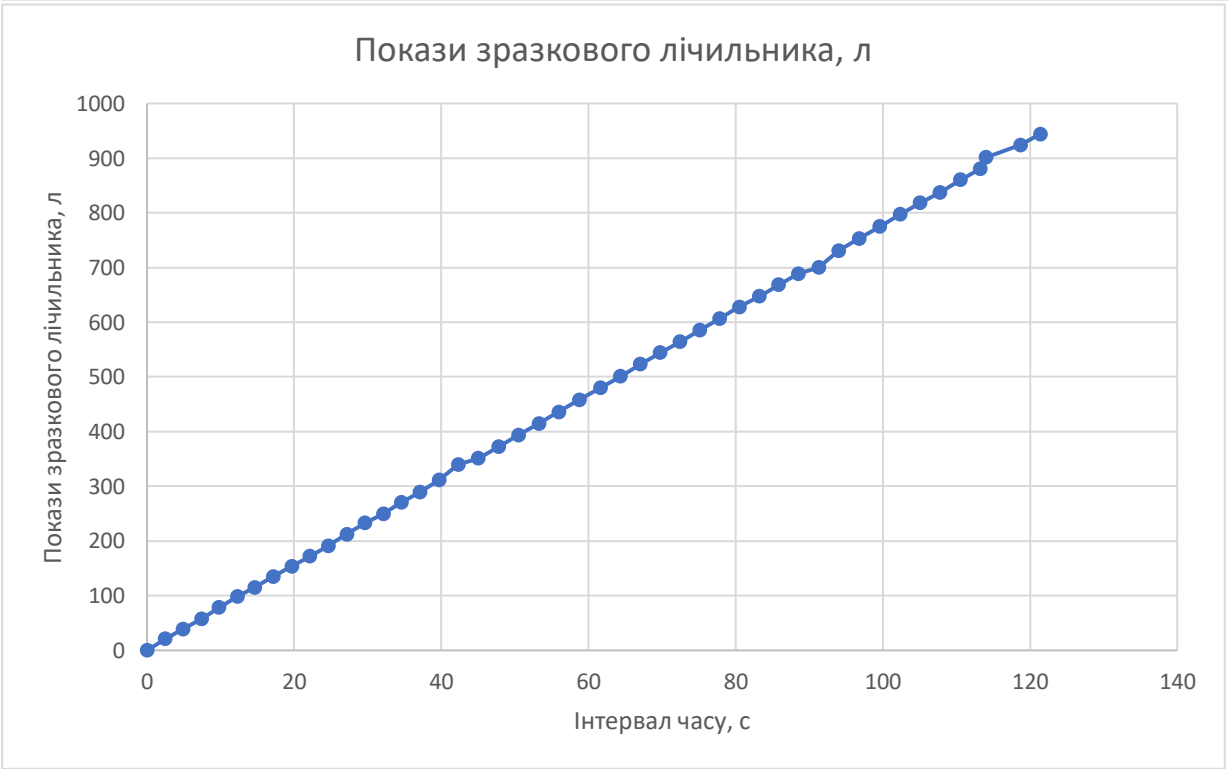
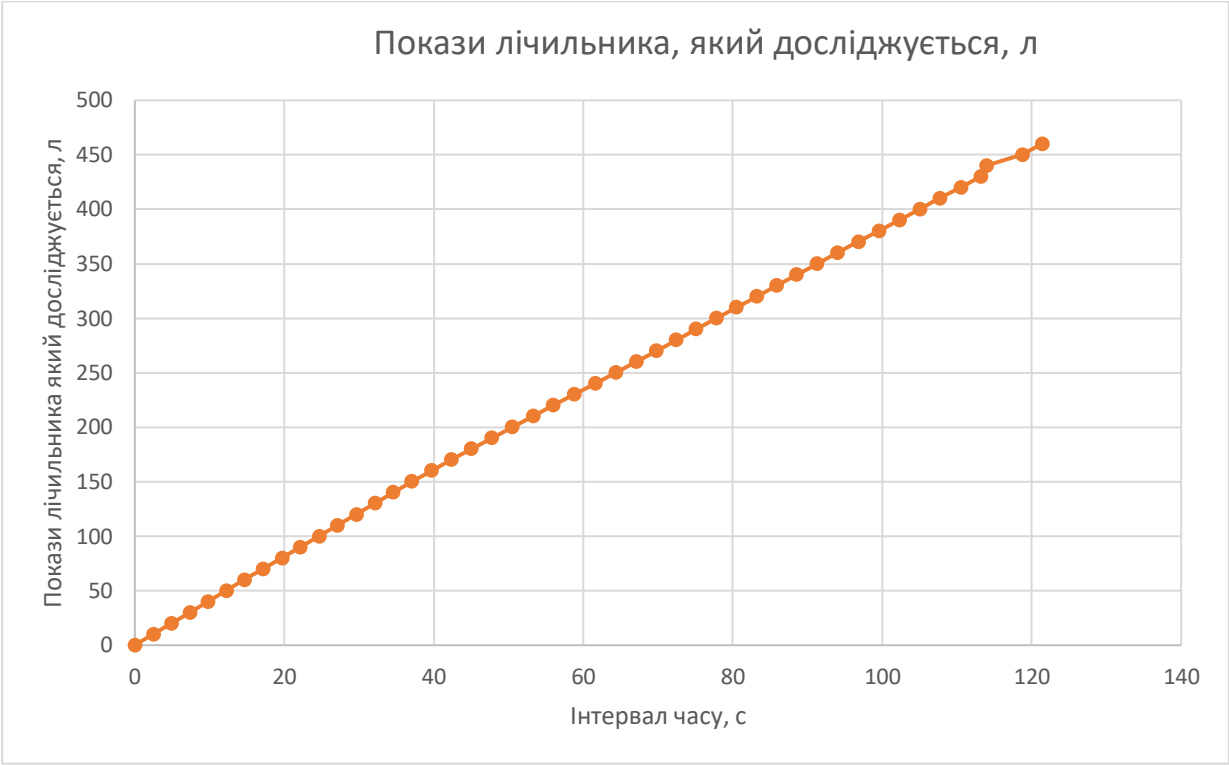
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

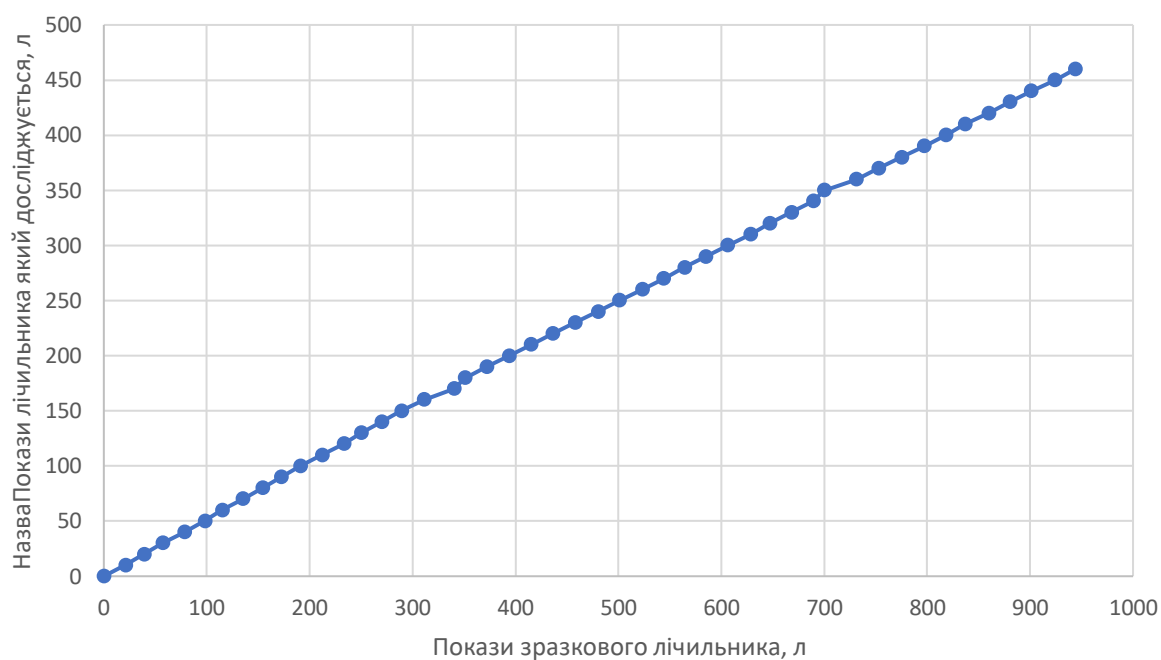
Арк.

98

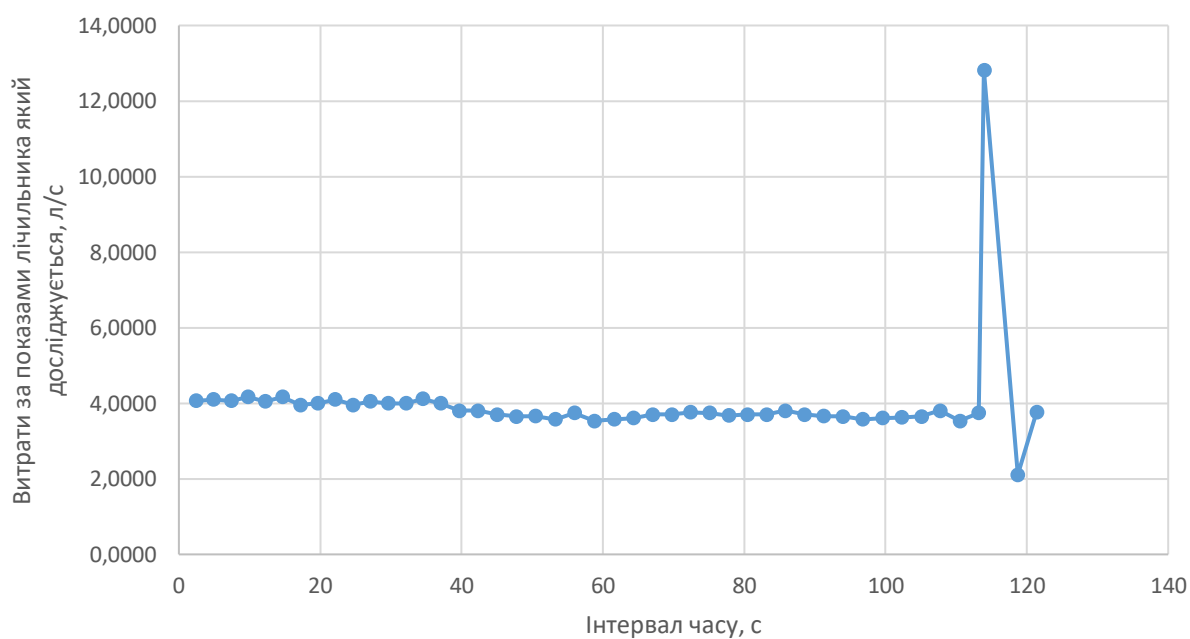




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



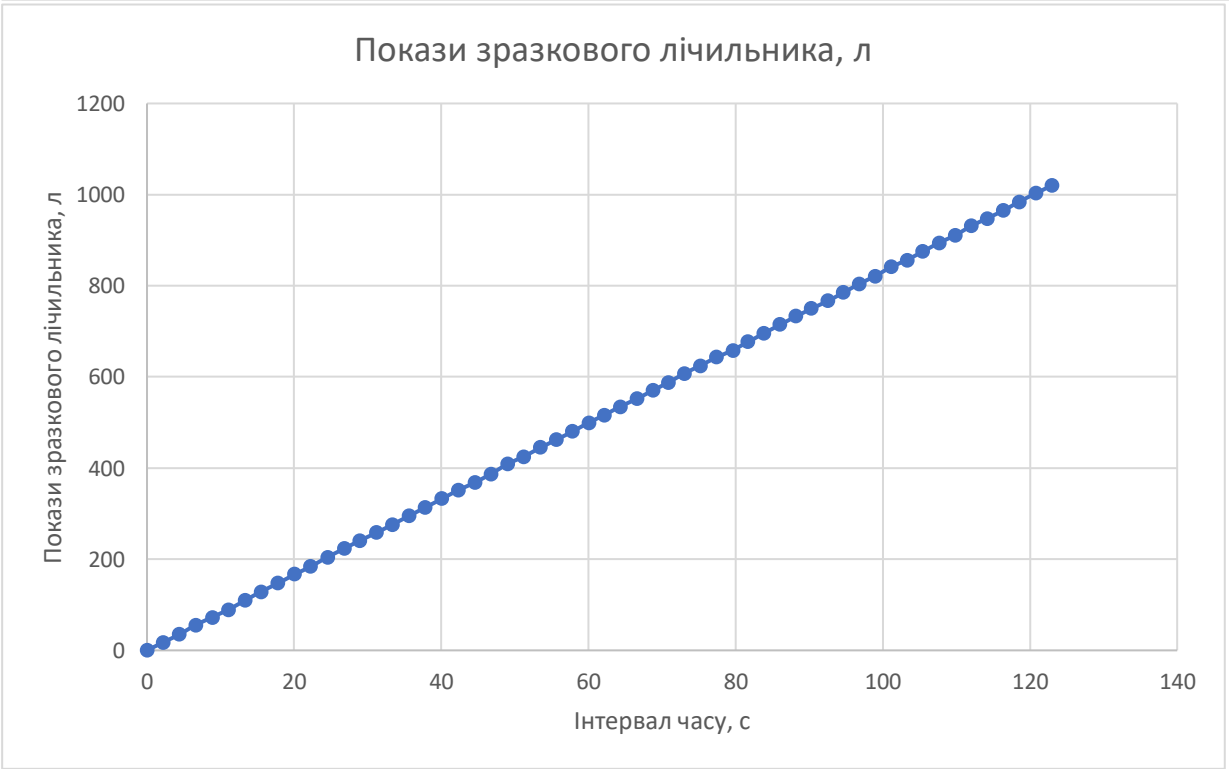
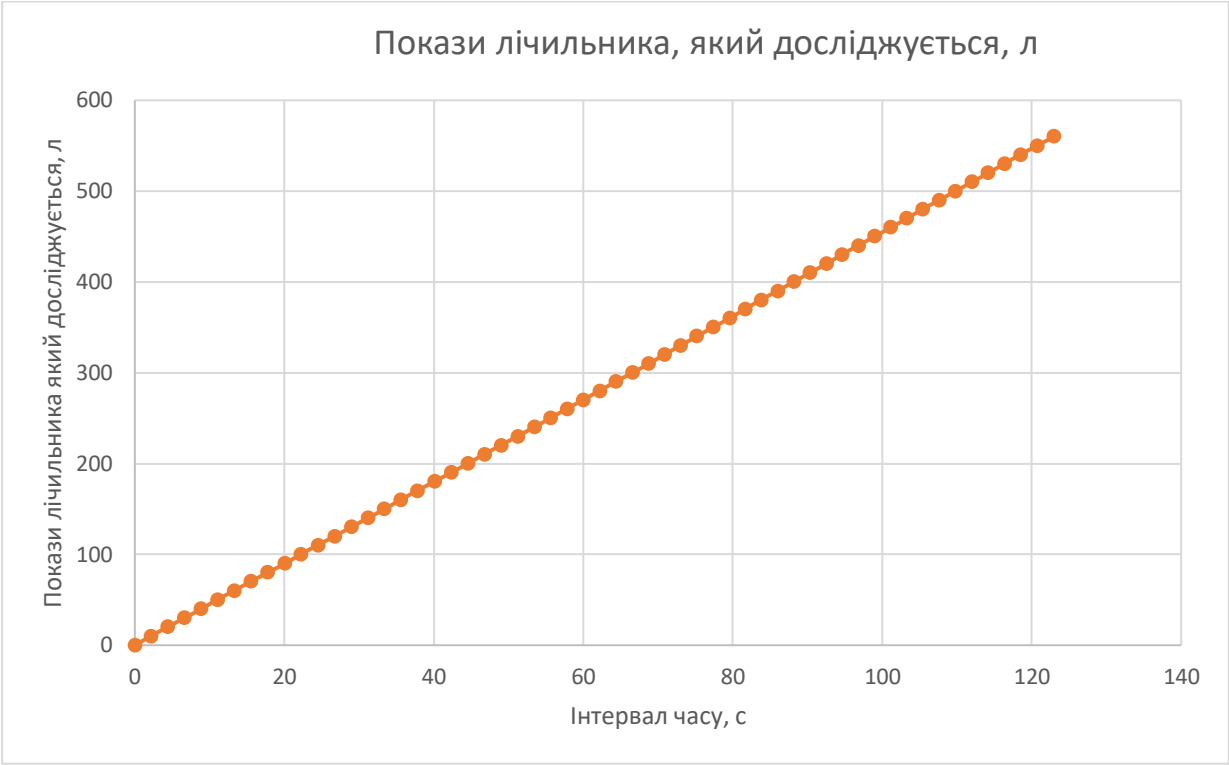
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

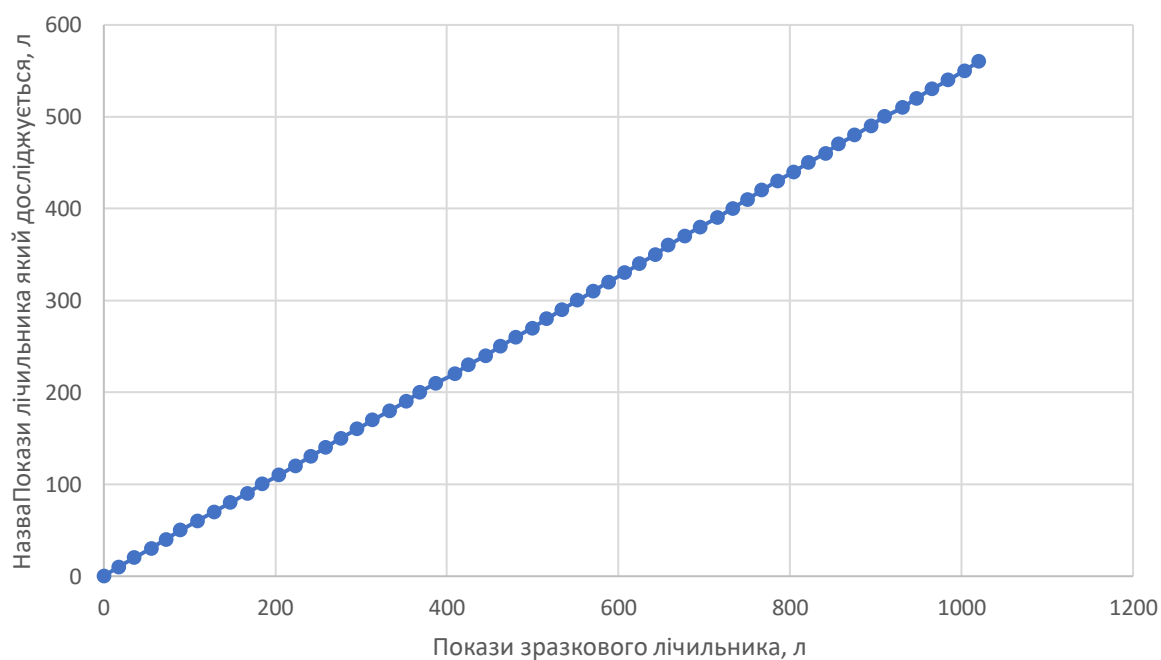
Арк.

101

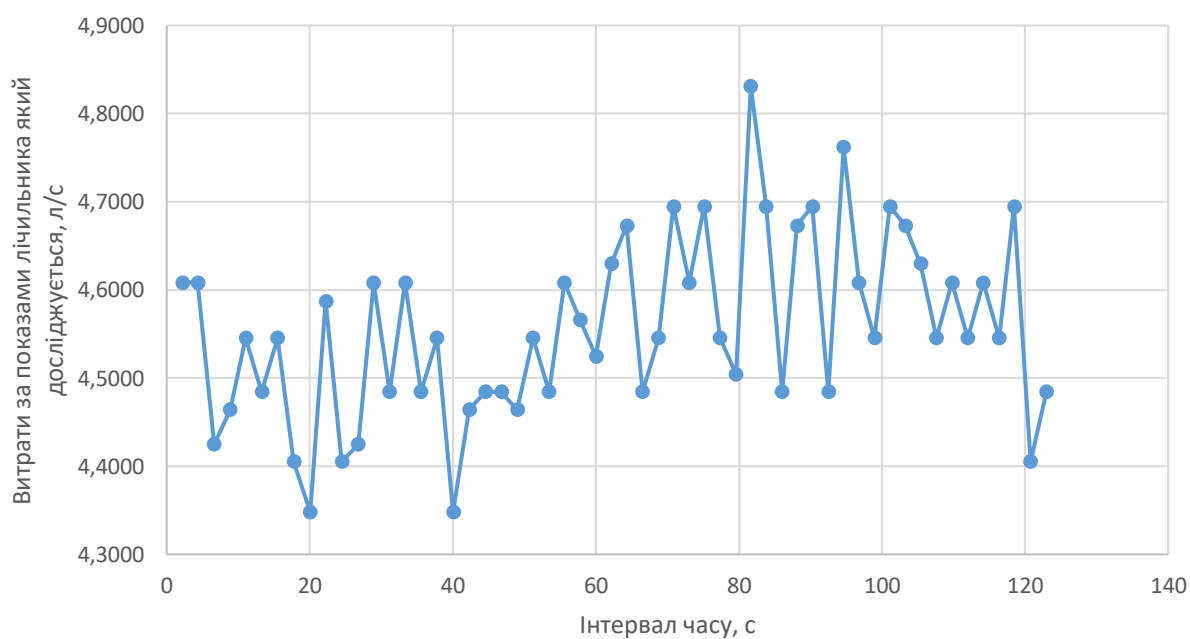




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



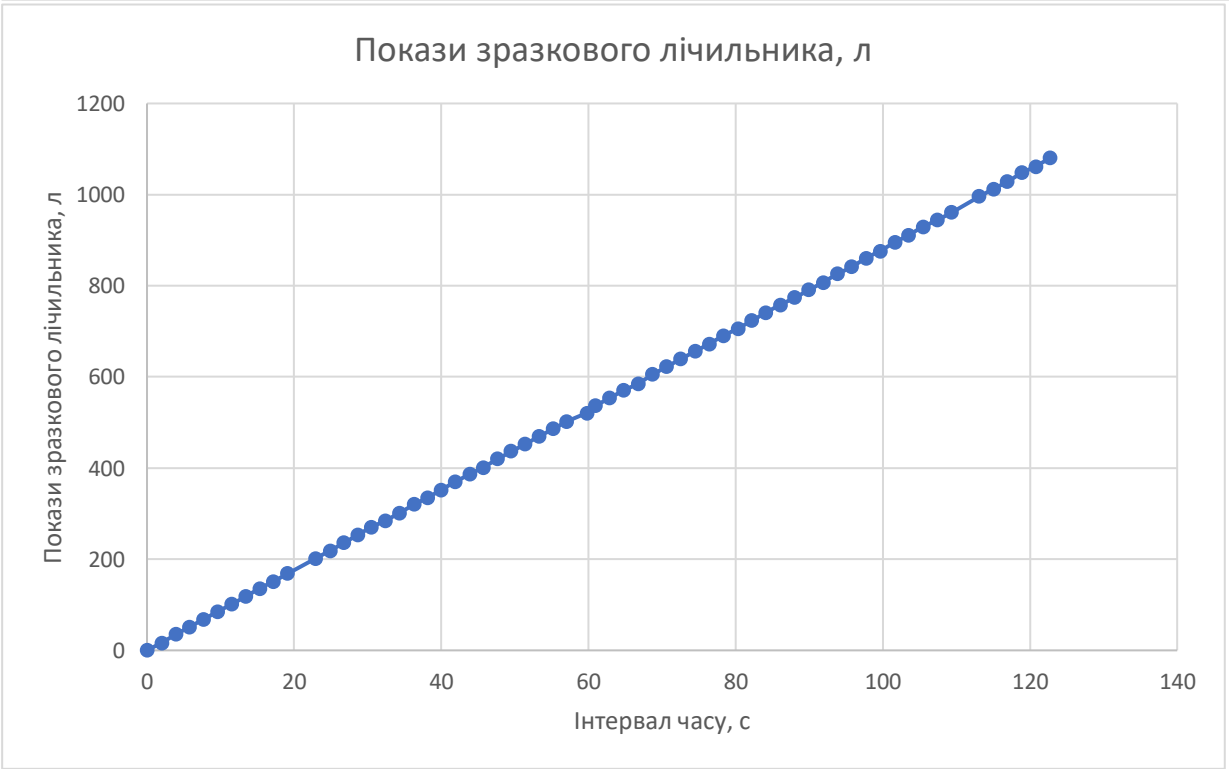
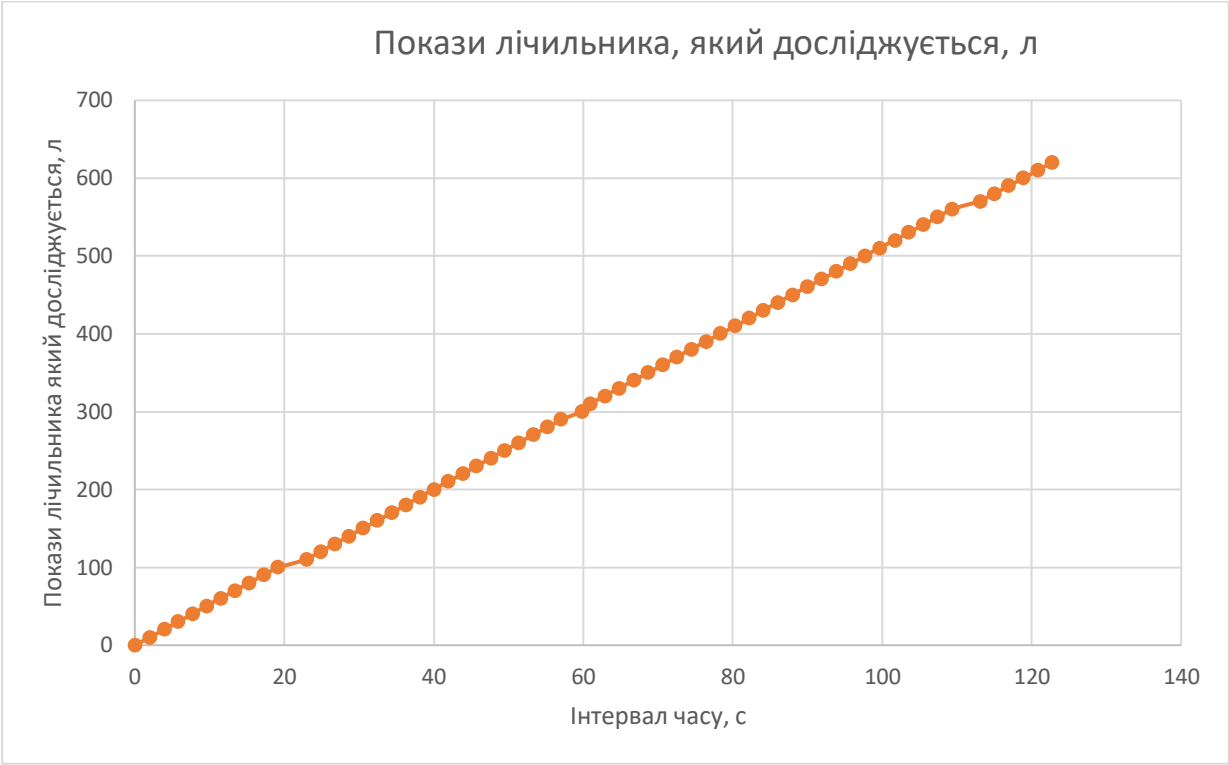
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

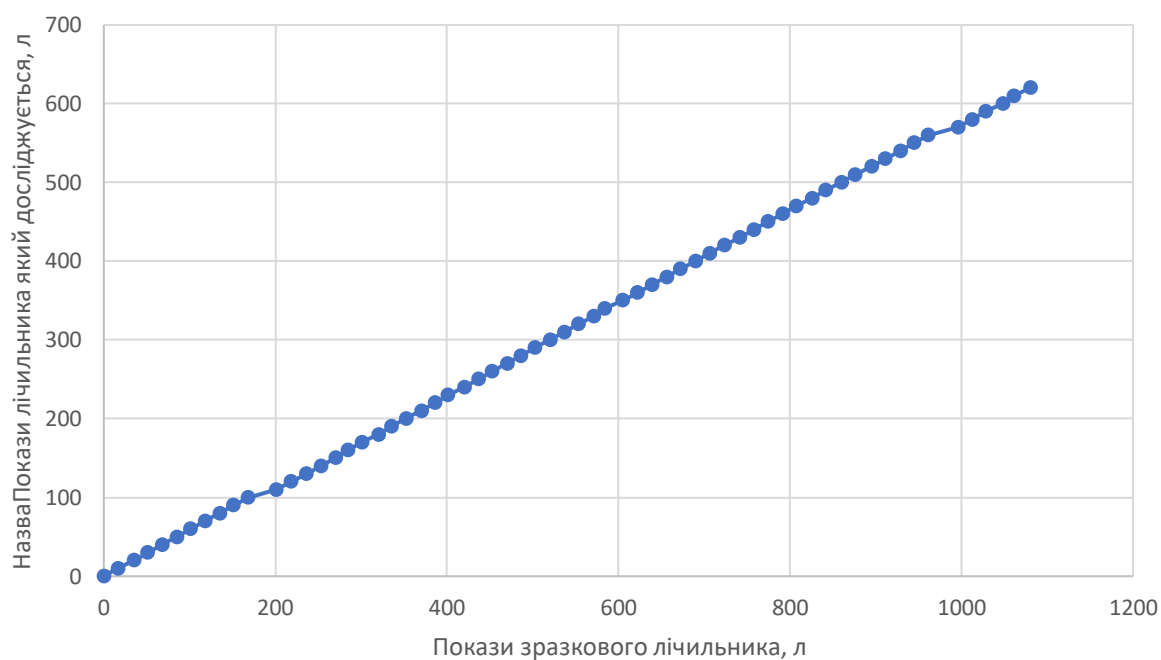
Арк.

104

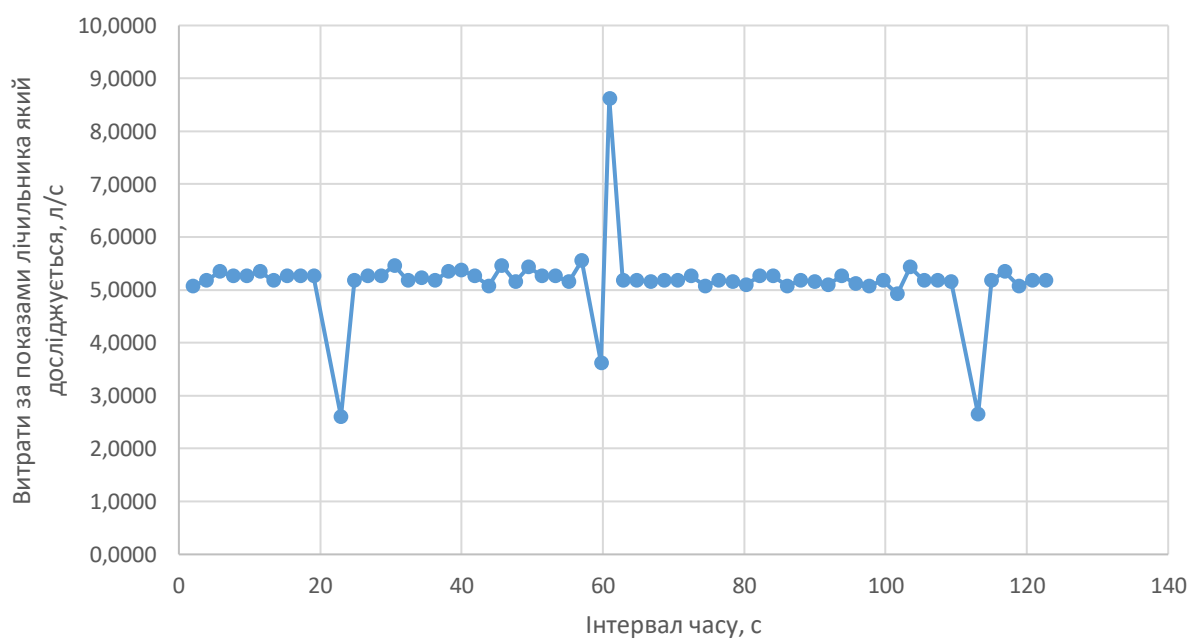




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с

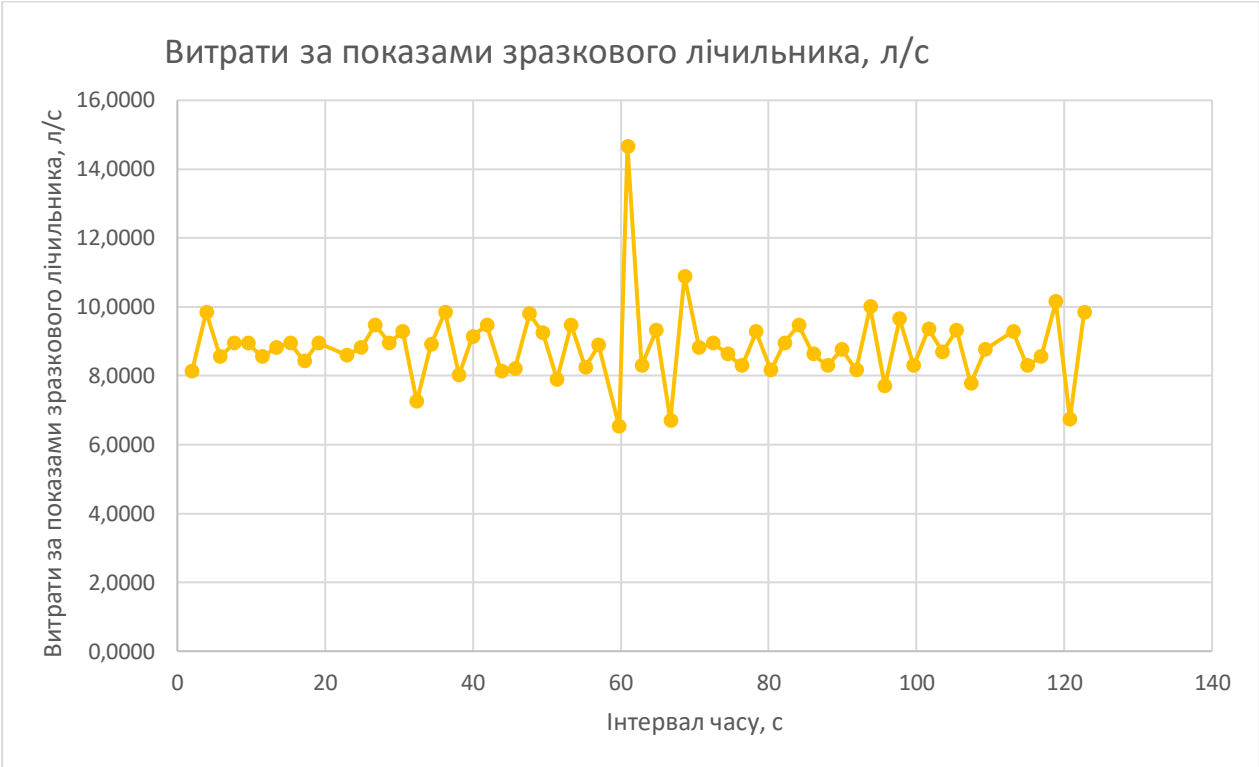


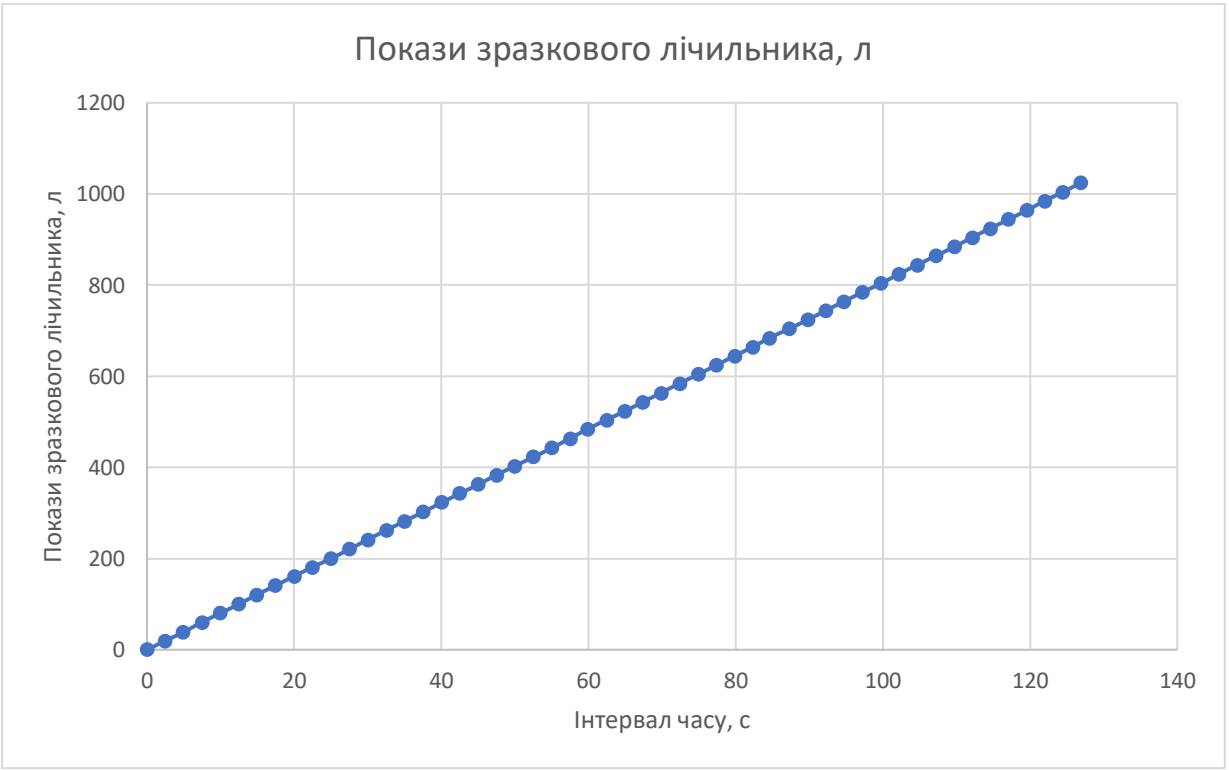
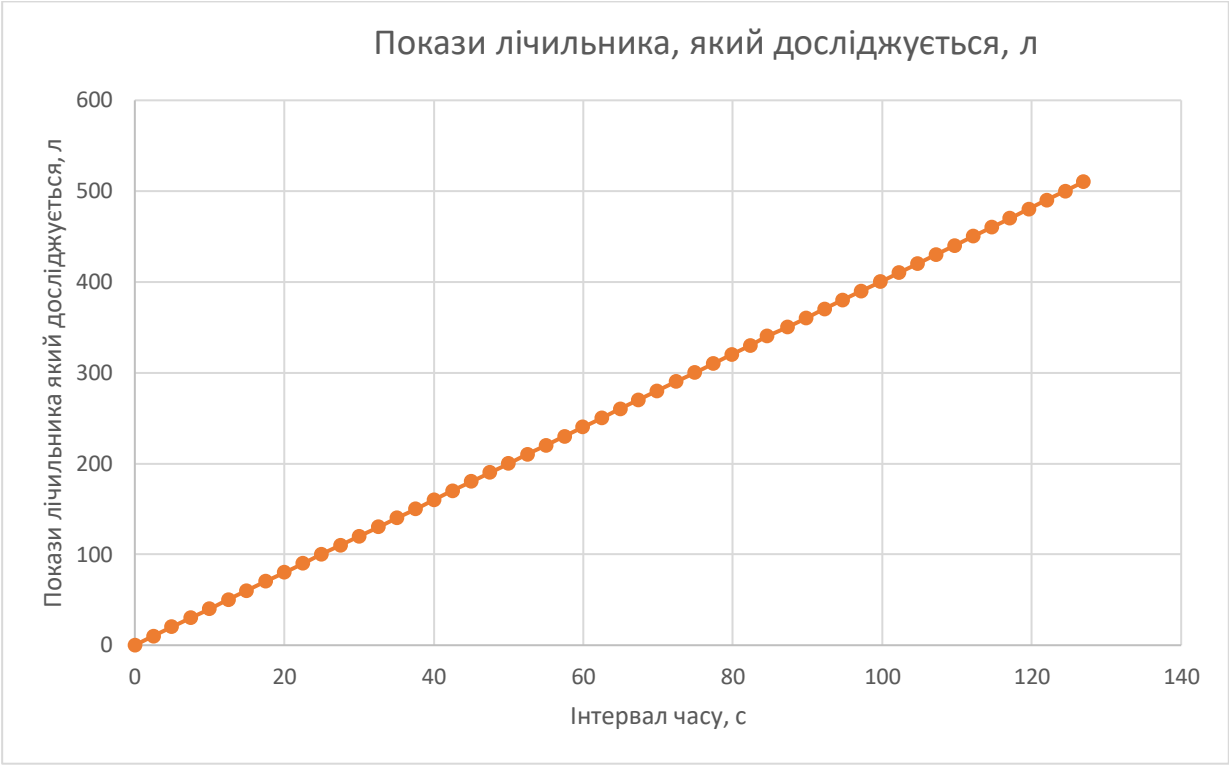
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

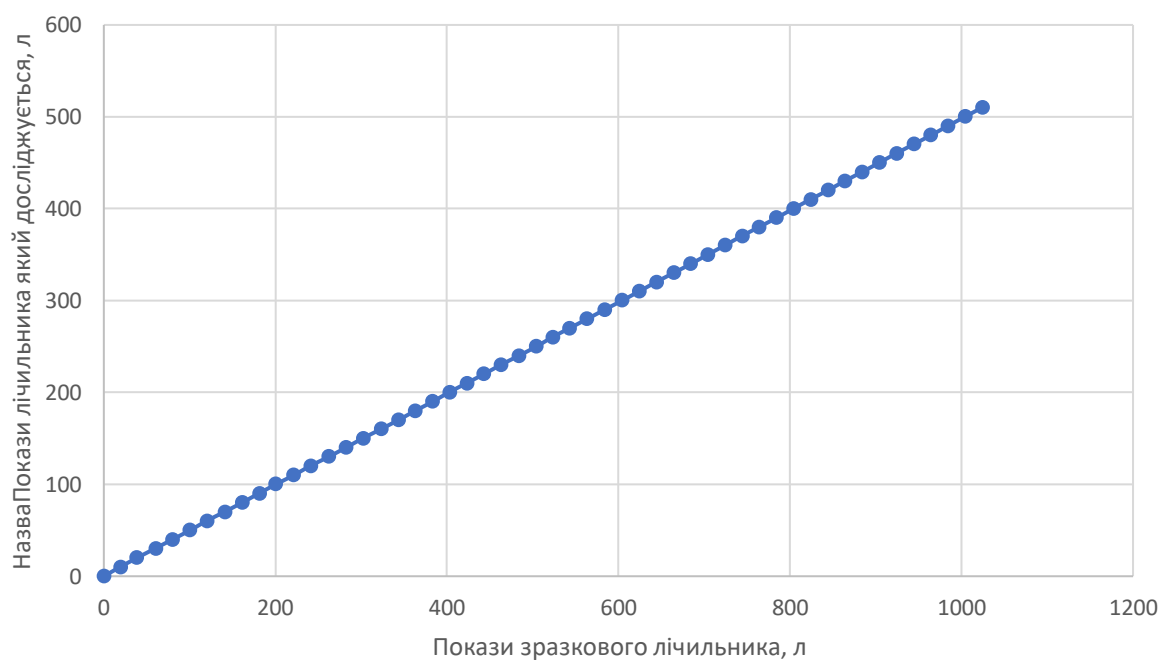
Арк.

107

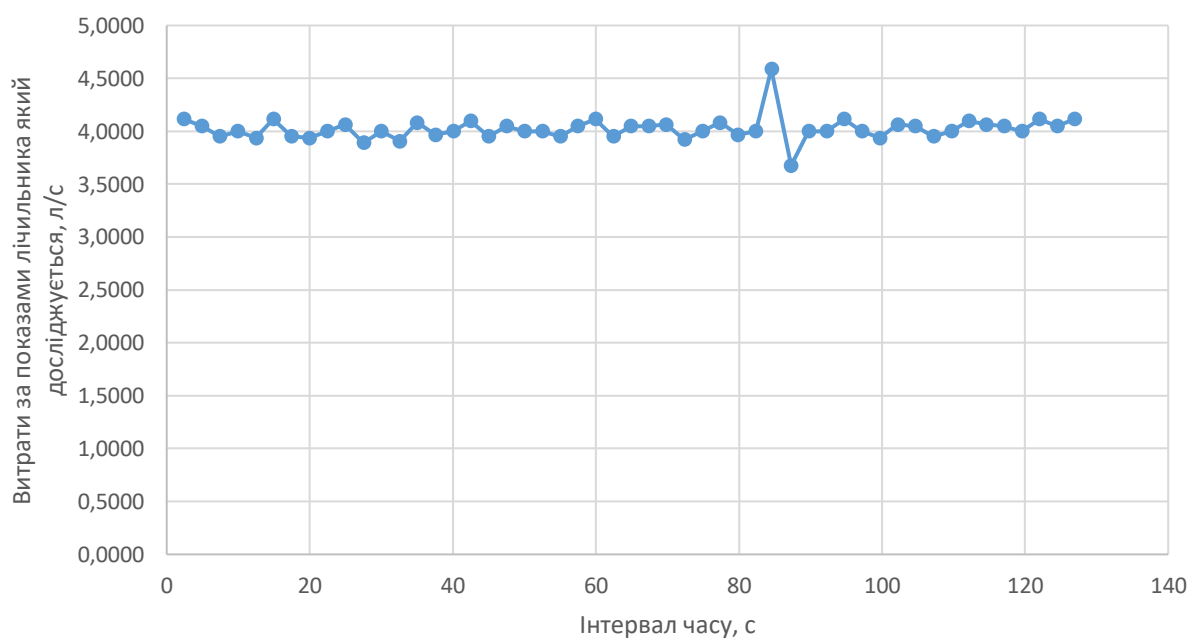




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



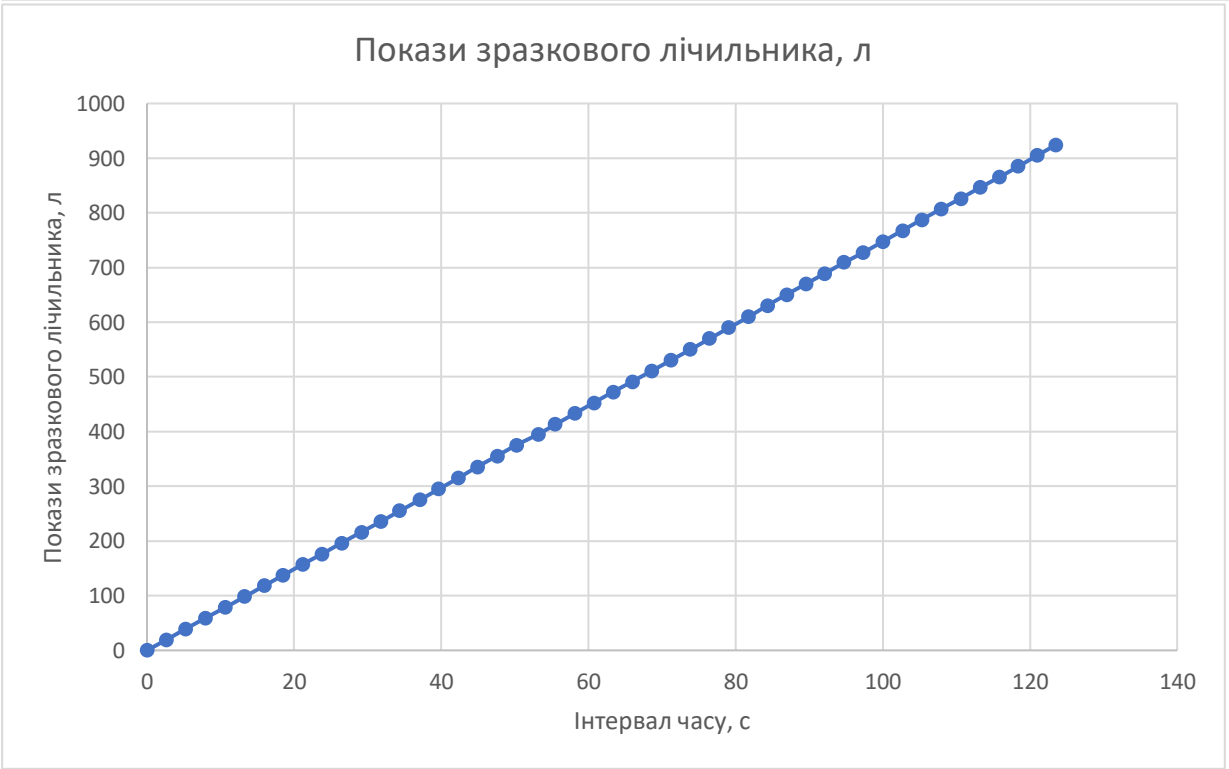
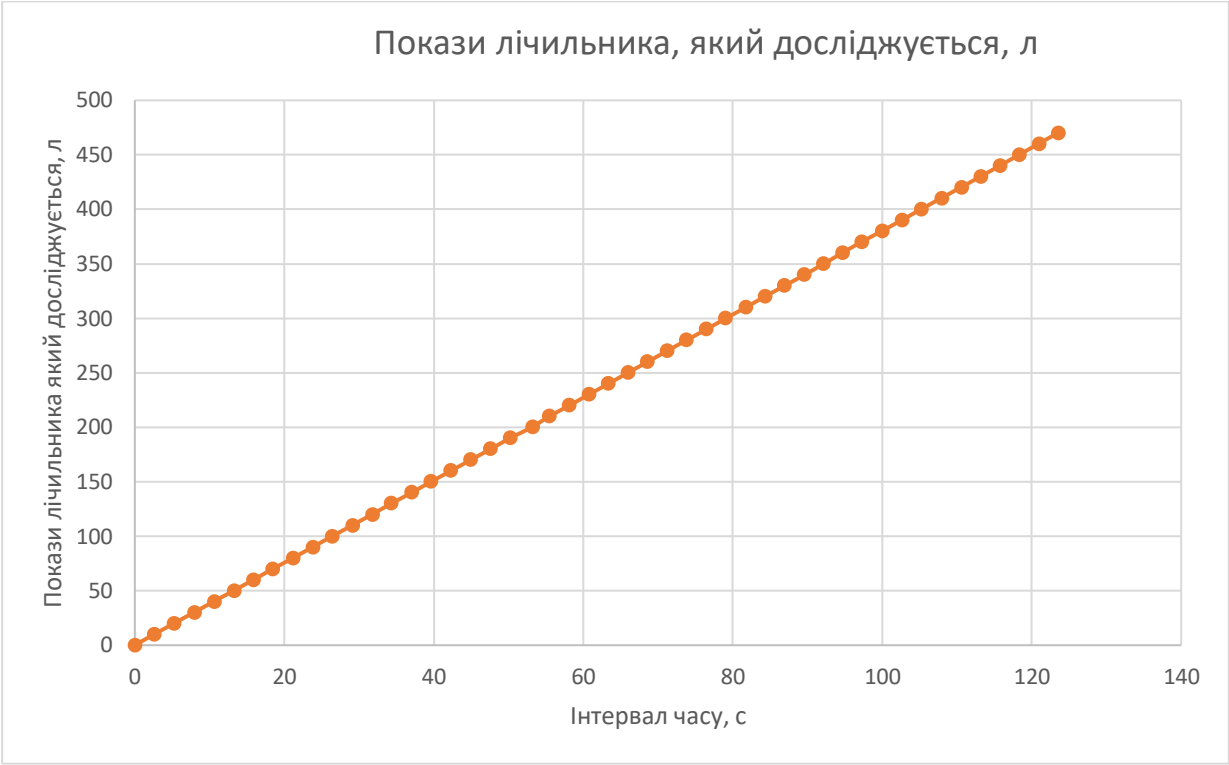
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

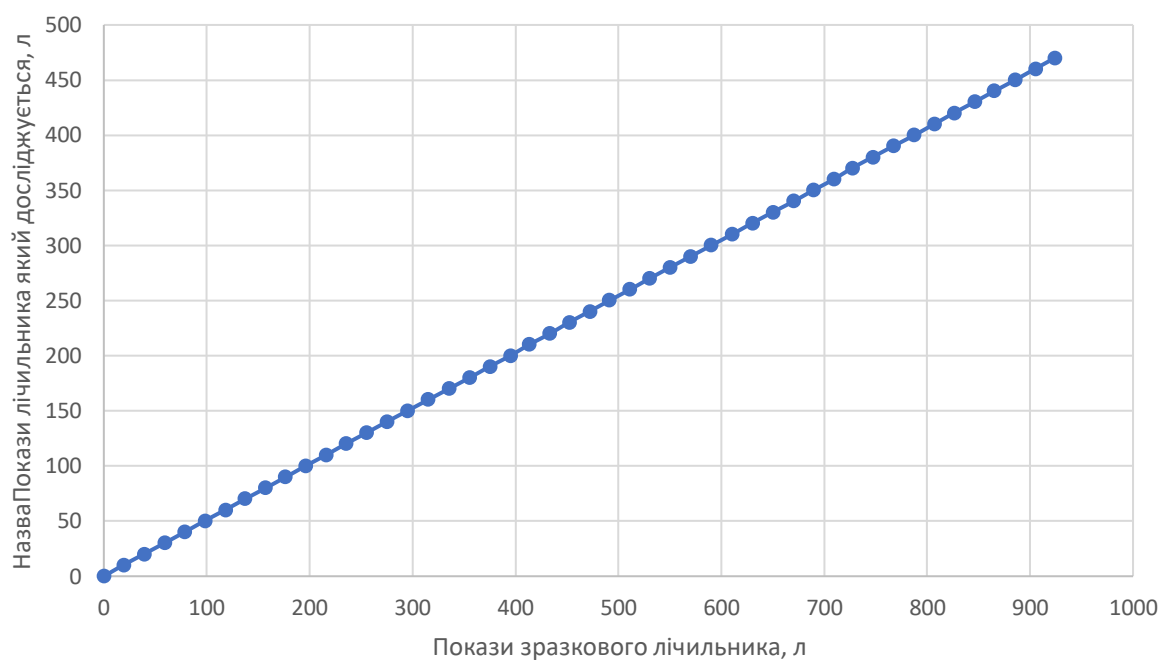
Арк.

110

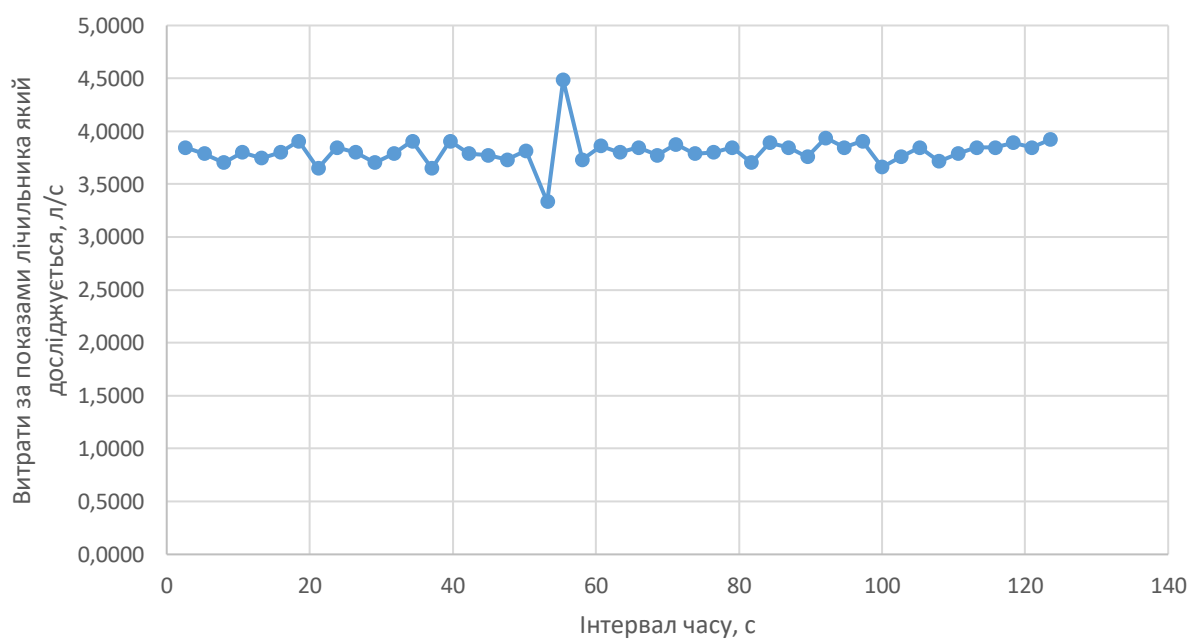




Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с

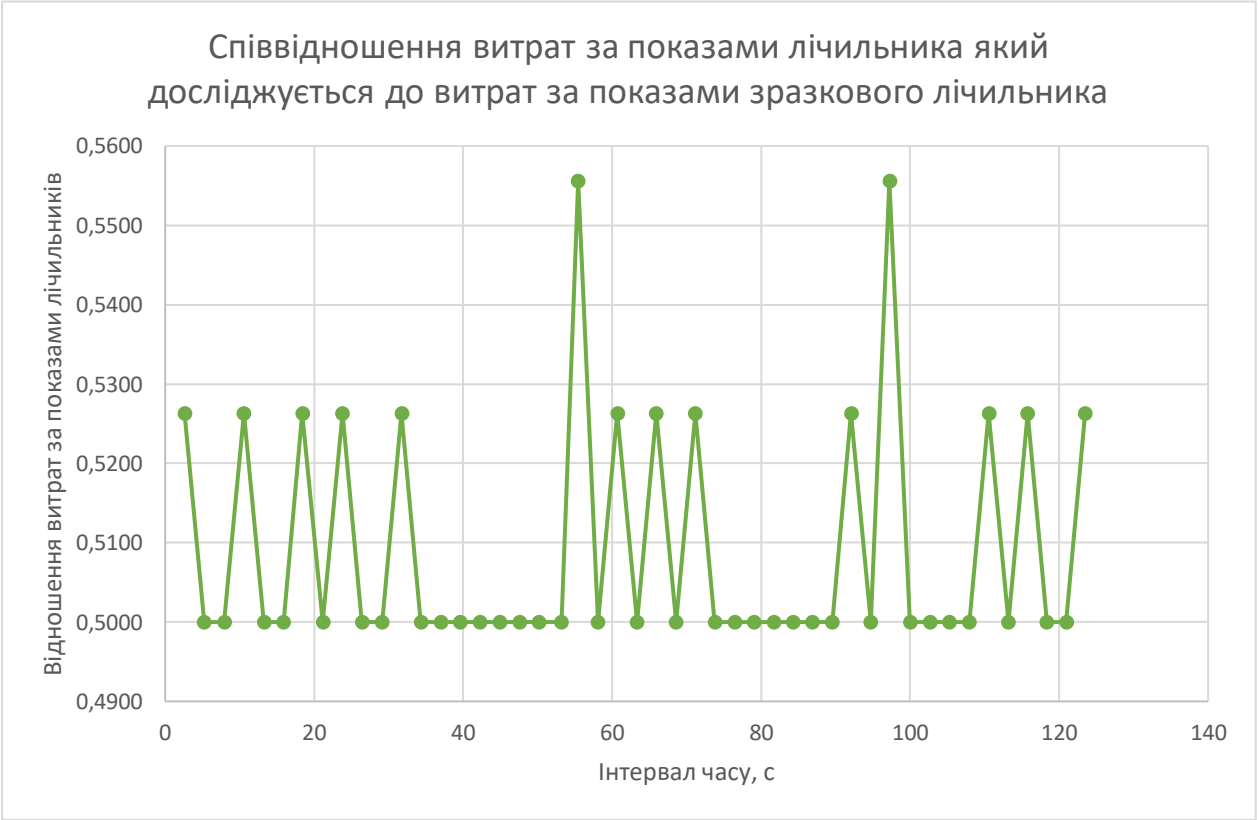


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

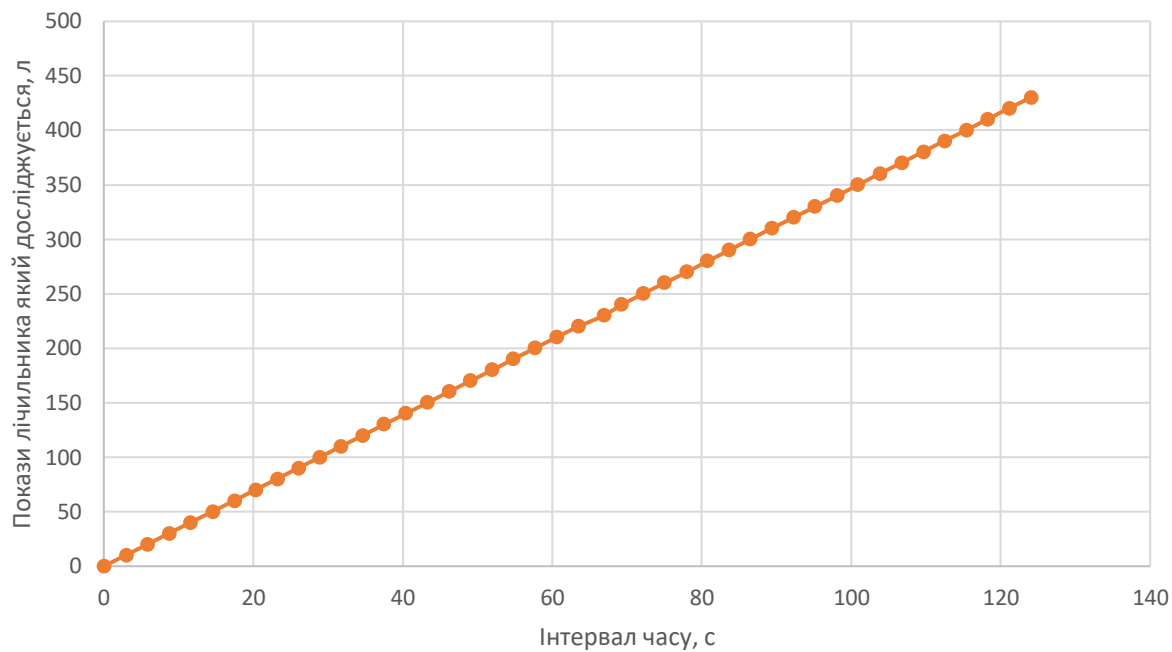
МД.ПЗ

Арк.

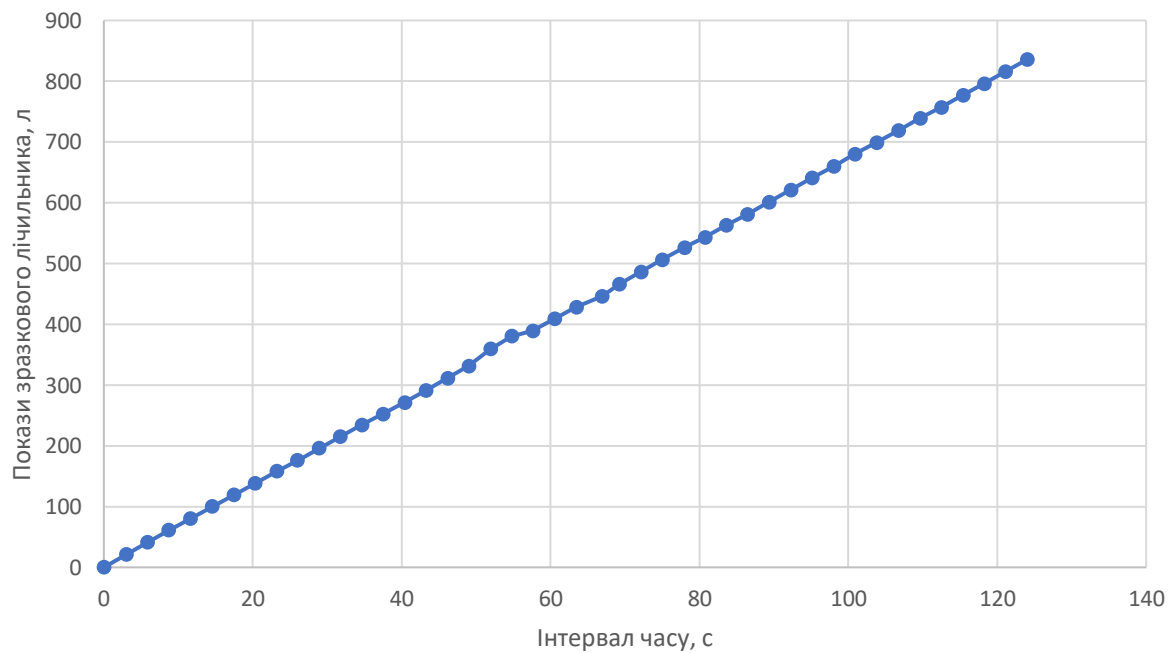
113



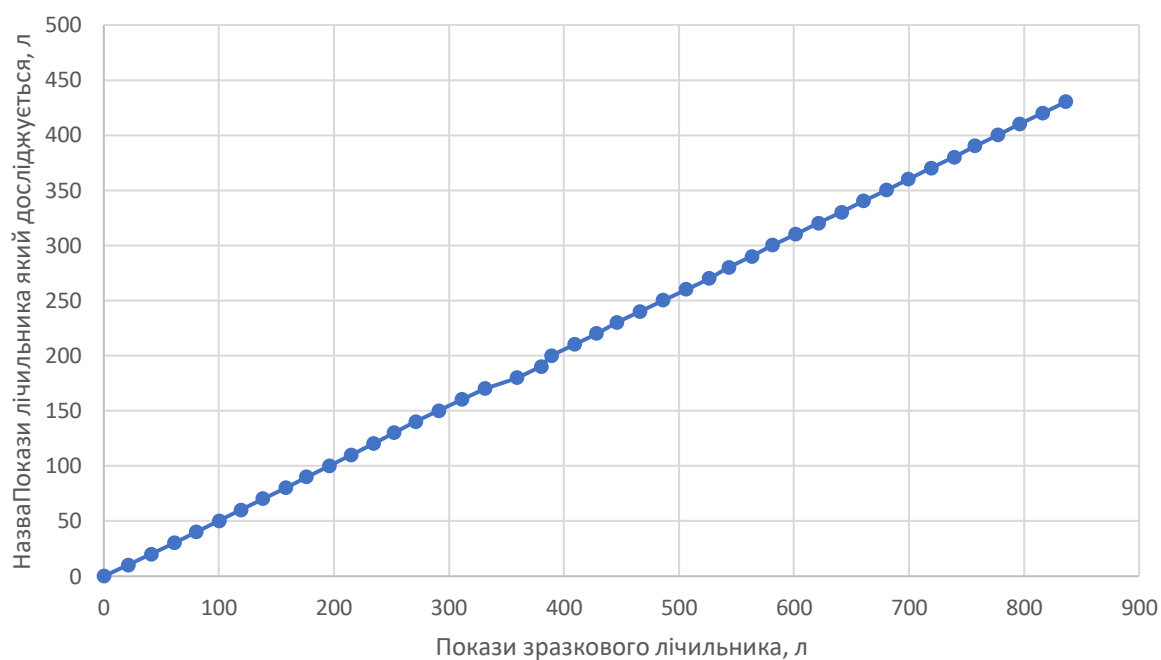
Покази лічильника, який досліджується, л



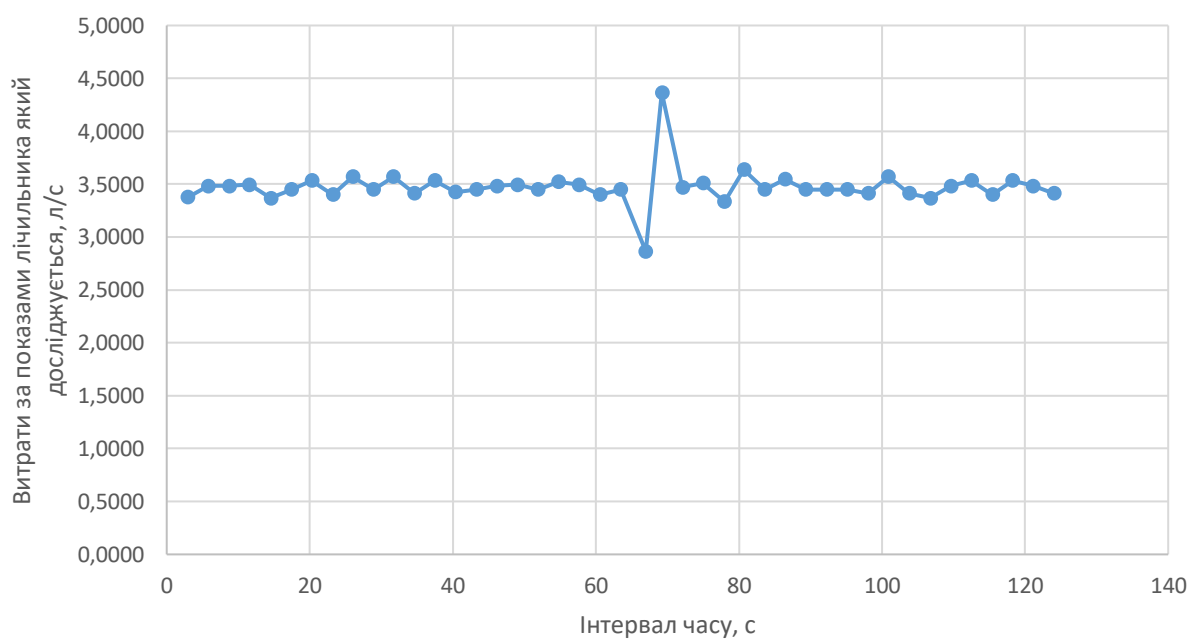
Покази зразкового лічильника, л



Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

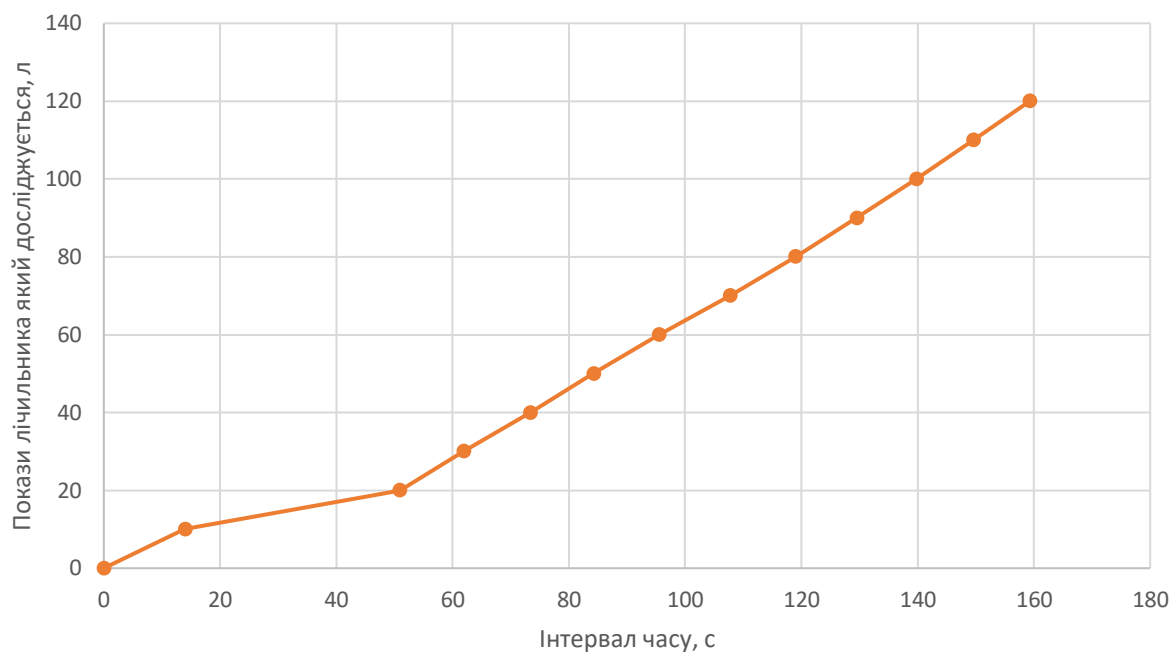
МД.ПЗ

Арк.

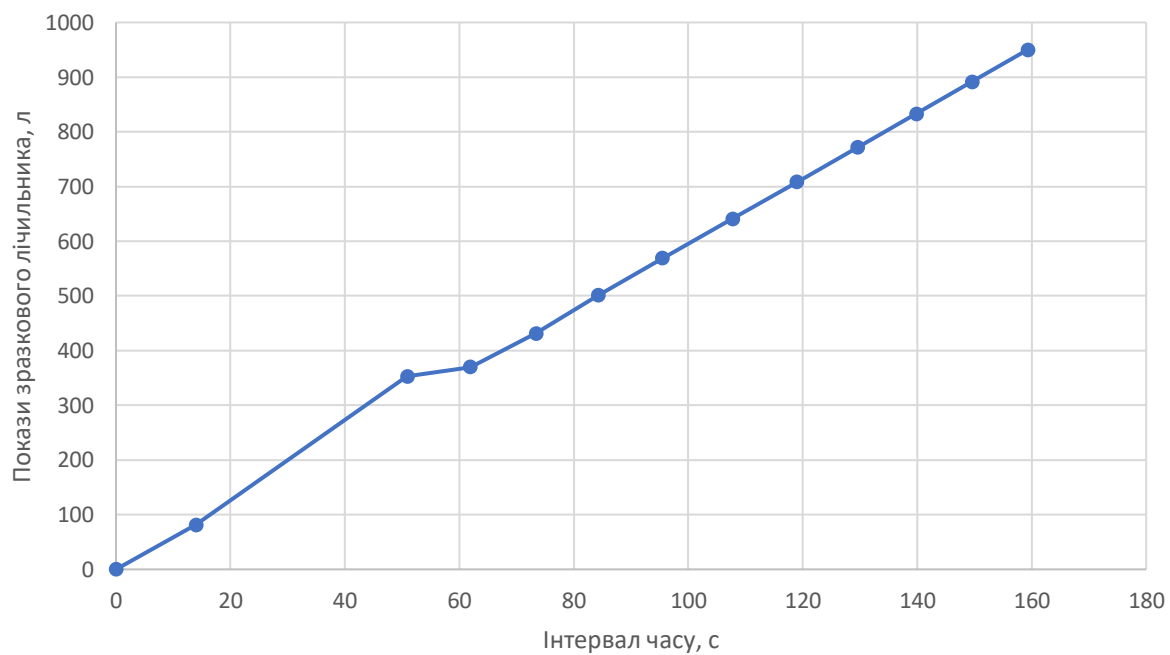
116



Покази лічильника, який досліджується, л



Покази зразкового лічильника, л



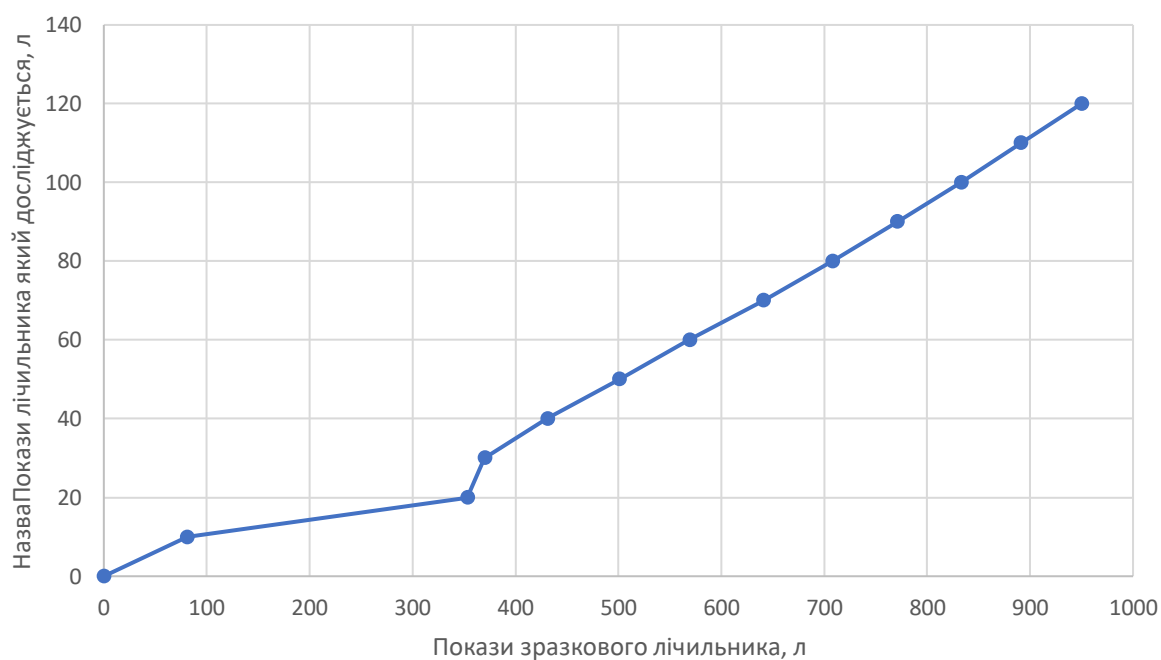
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

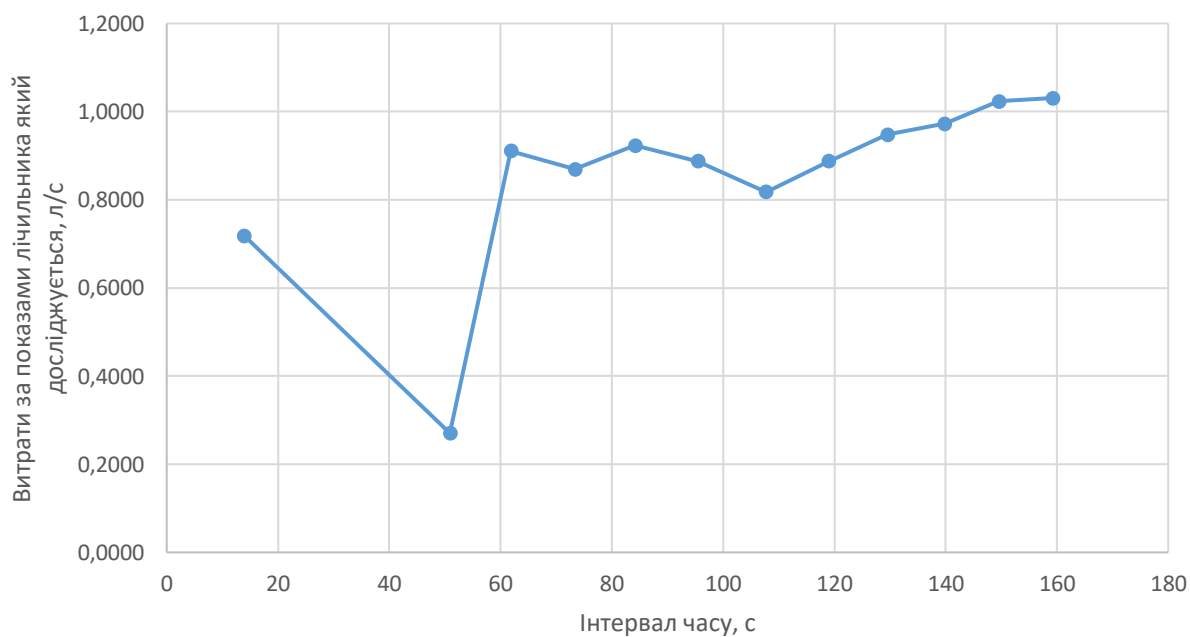
Арк.

118

Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



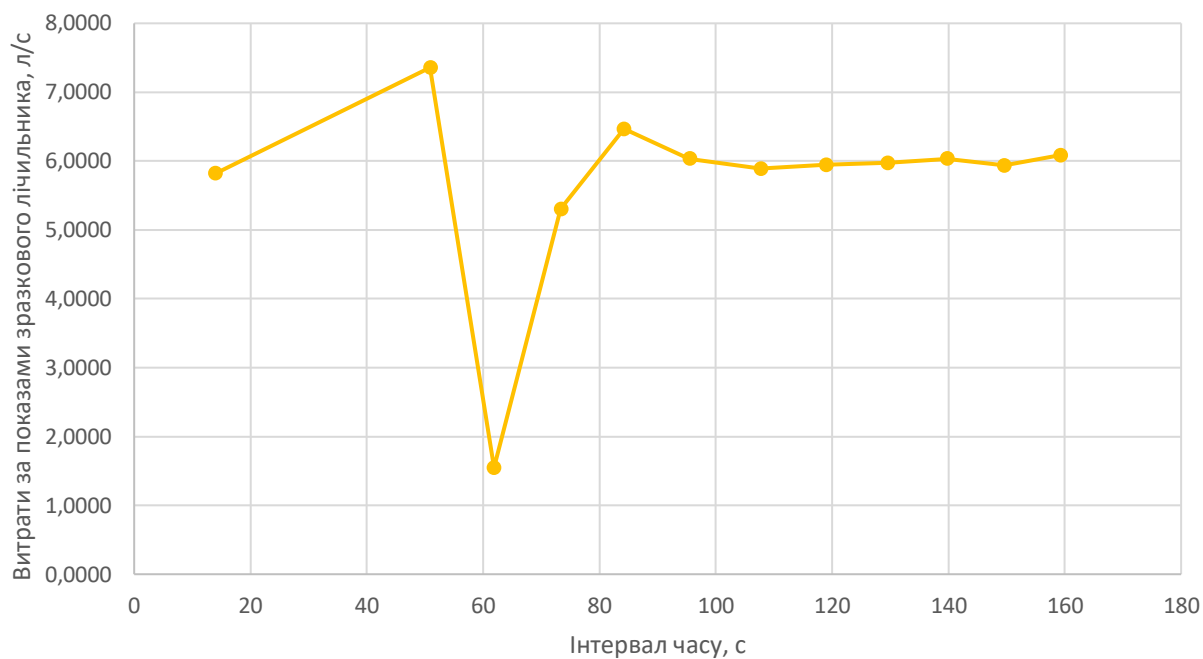
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

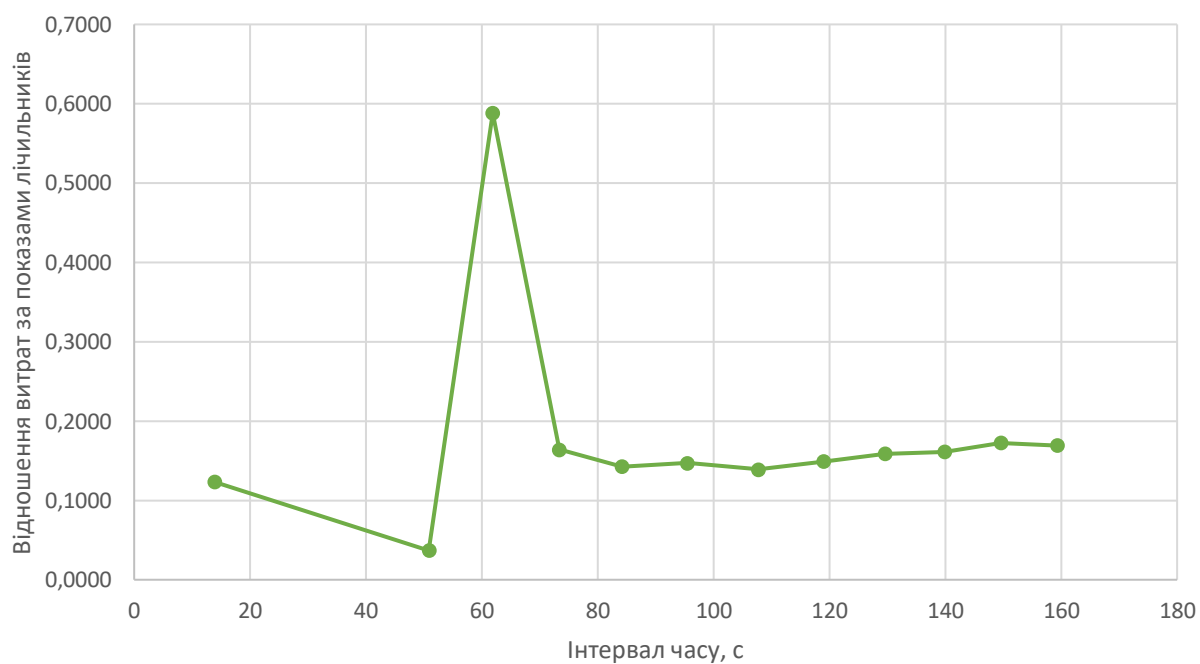
Арк.

119

Витрати за показами зразкового лічильника, л/с



Співвідношення витрат за показами лічильника який досліджується до витрат за показами зразкового лічильника



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

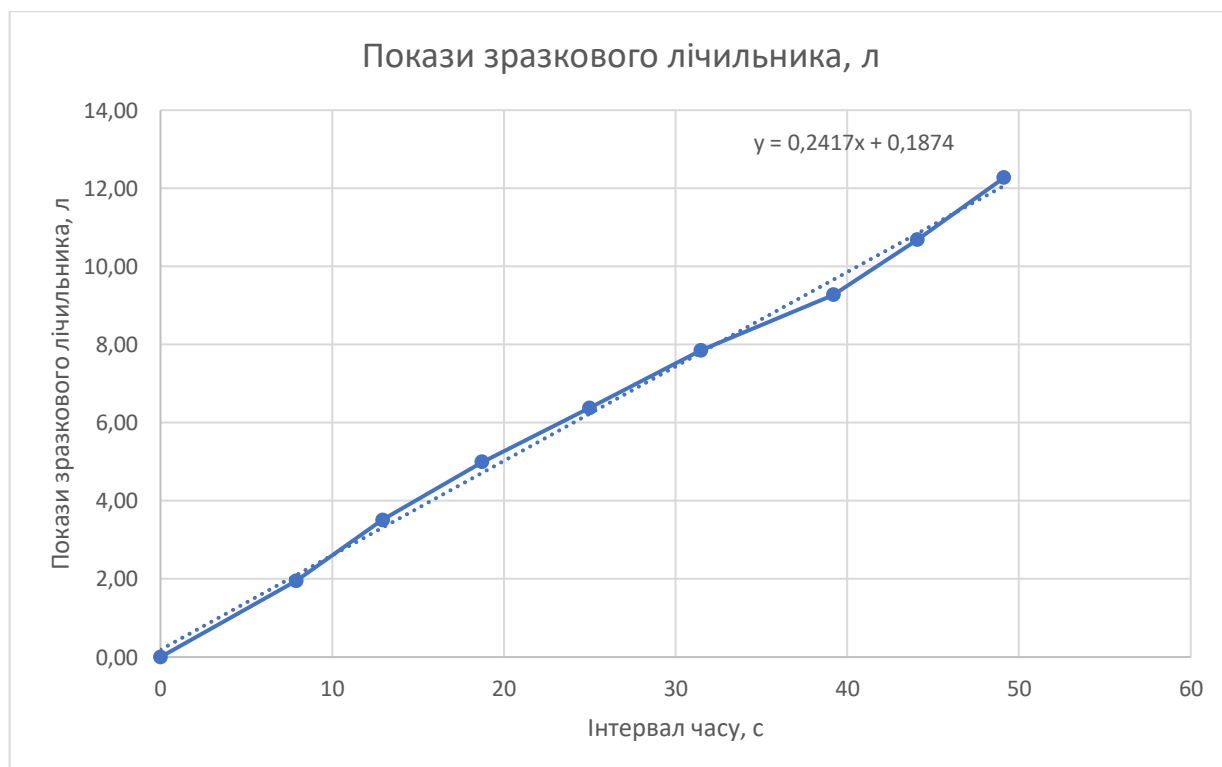
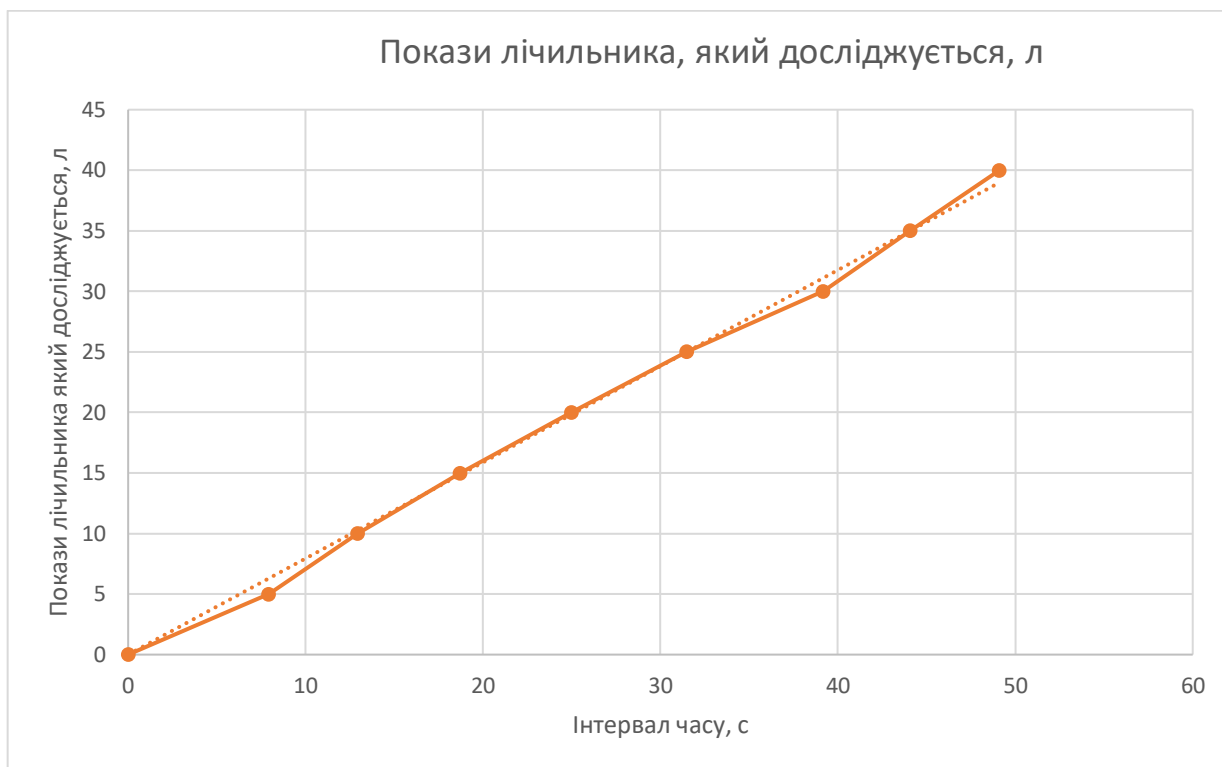
МД.ПЗ

Арк.

120

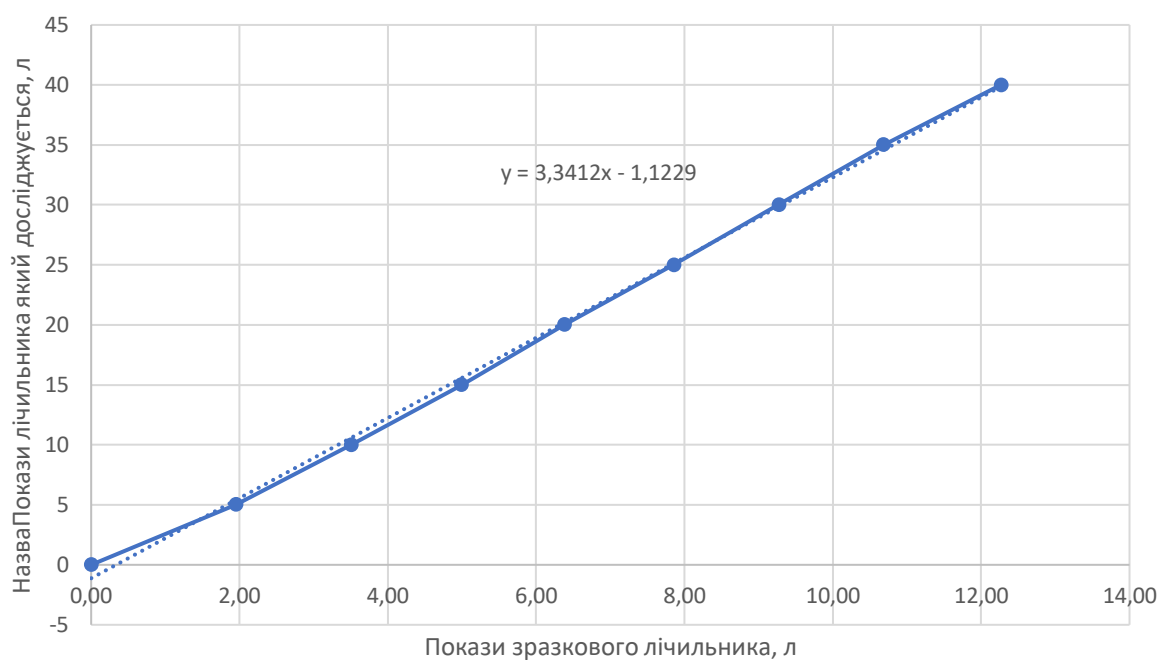
Результати експерименту з піском

Діаметр проходу 32 мм

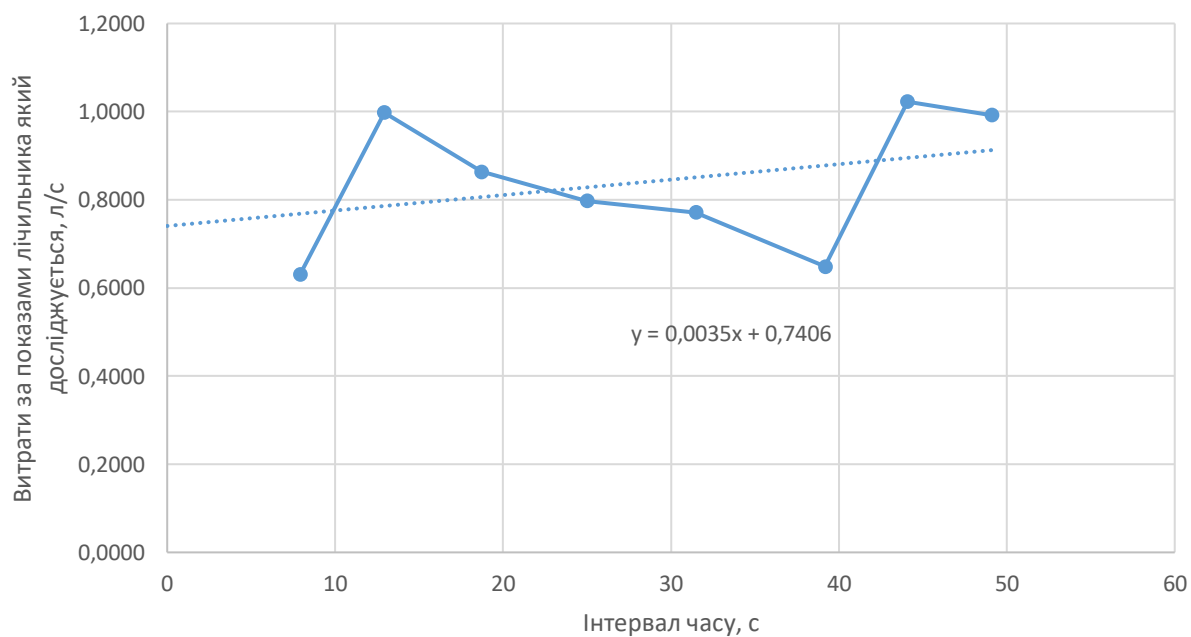


					МД.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		121

Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с

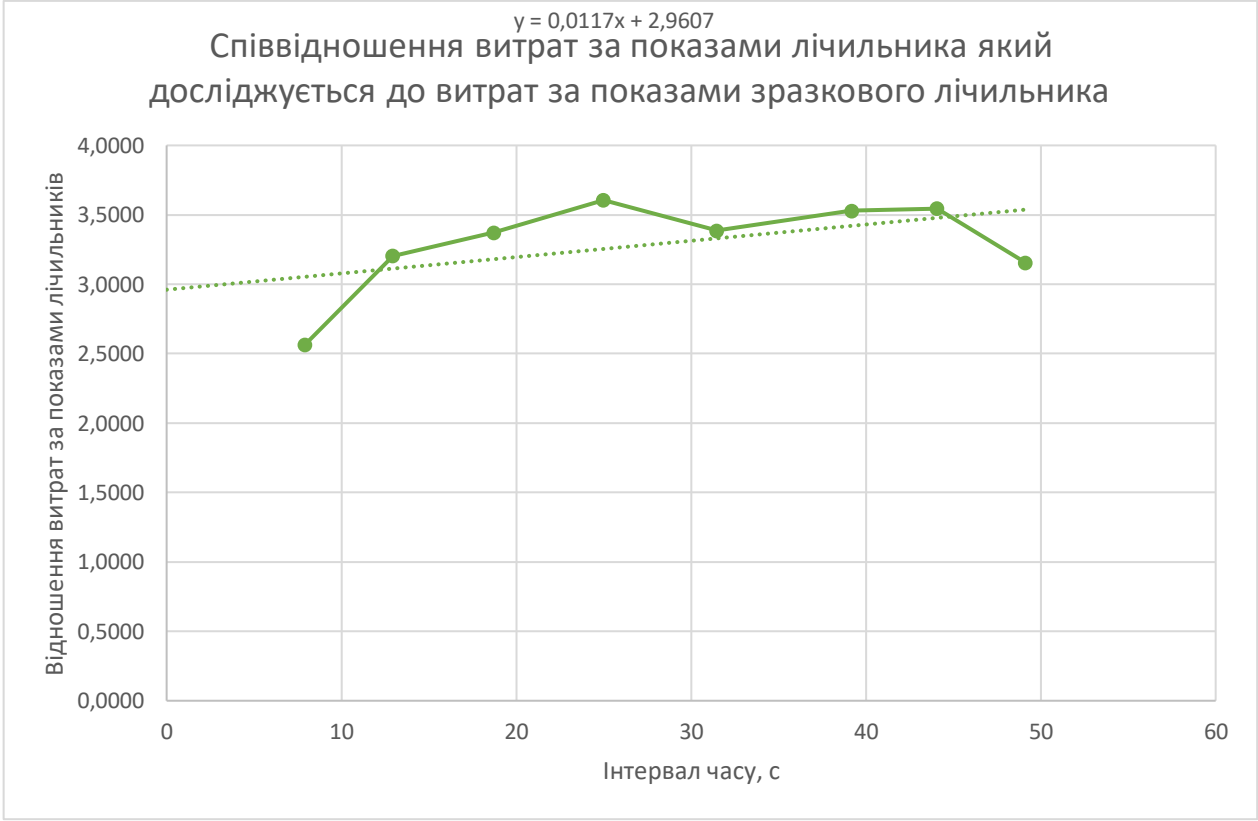
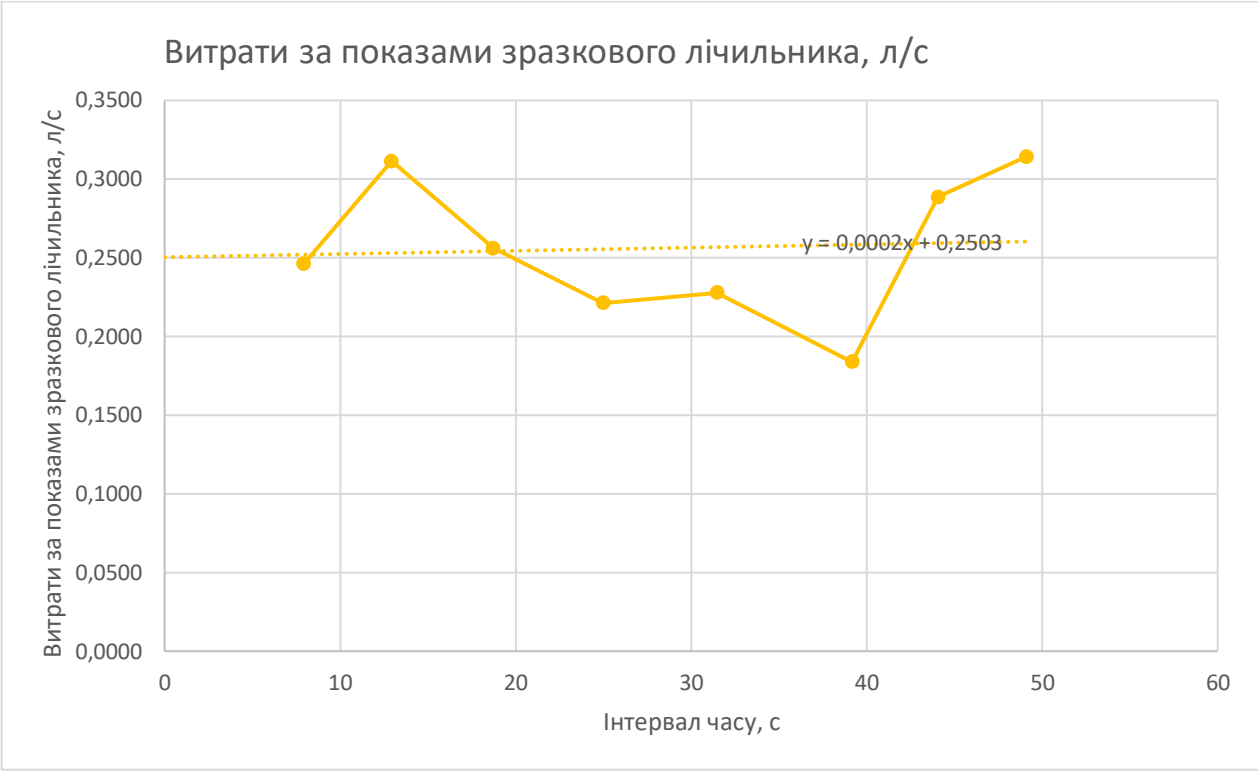


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

Арк.

122



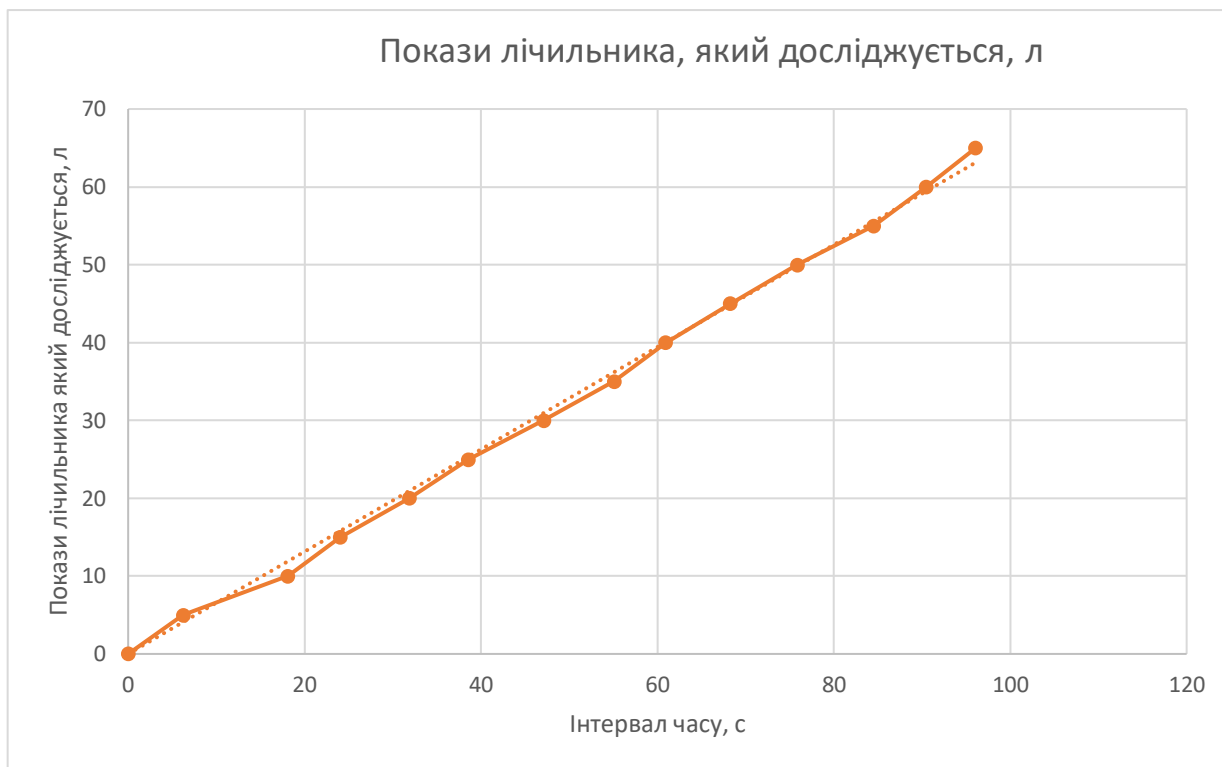
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

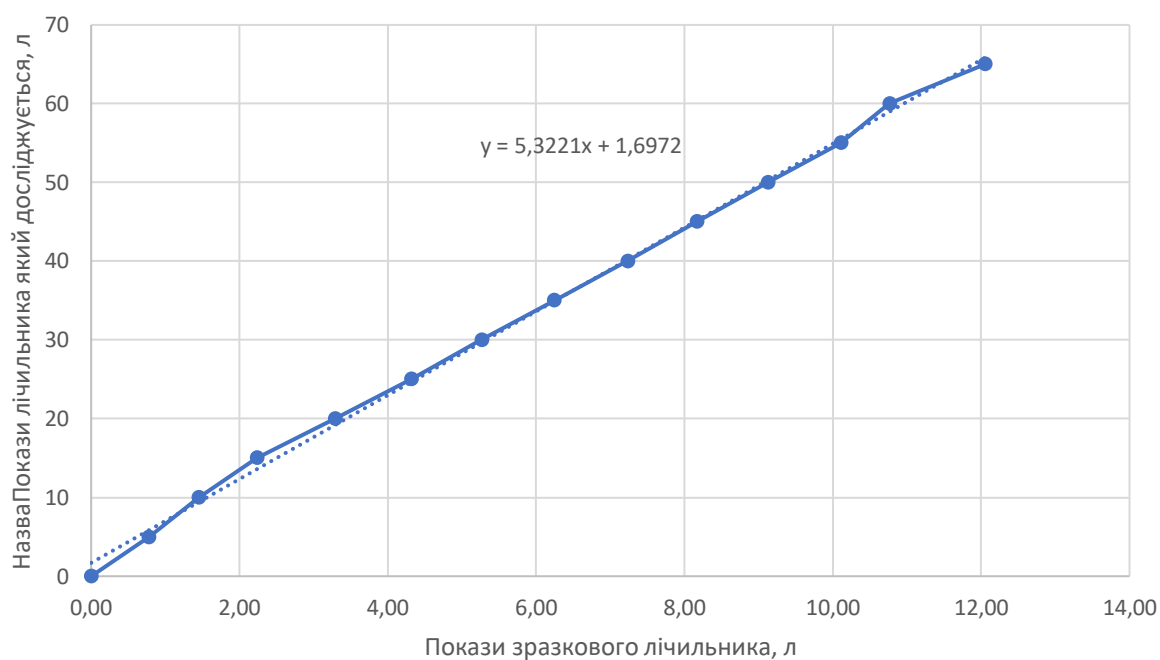
Арк.

123

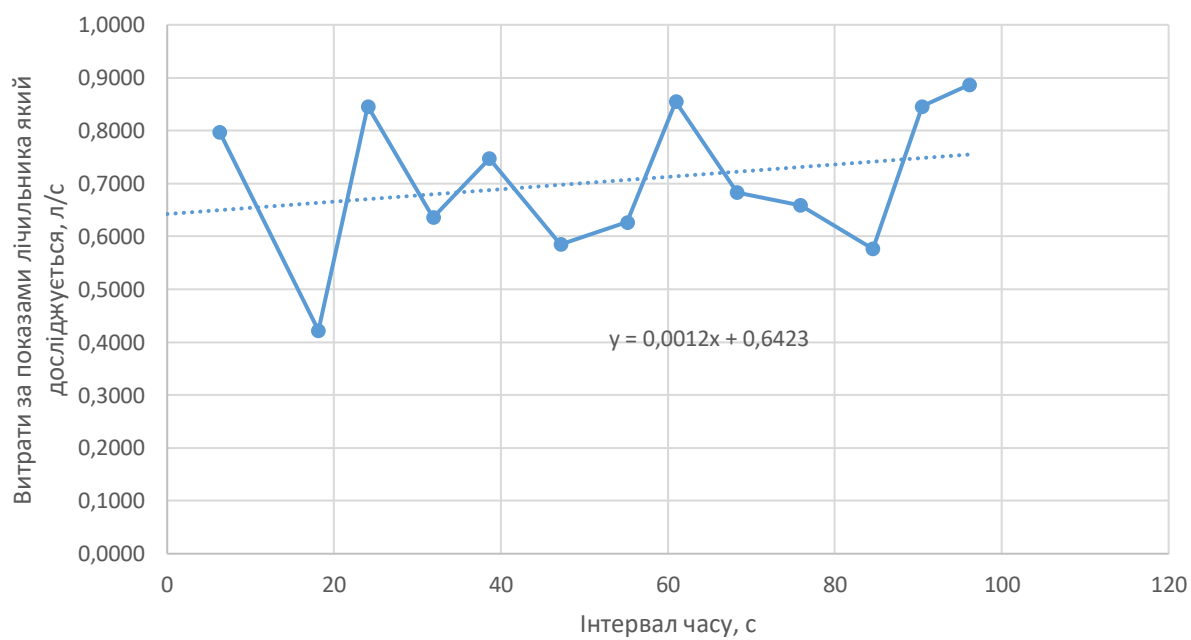
Діаметр умовного проходу 40 мм



Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с

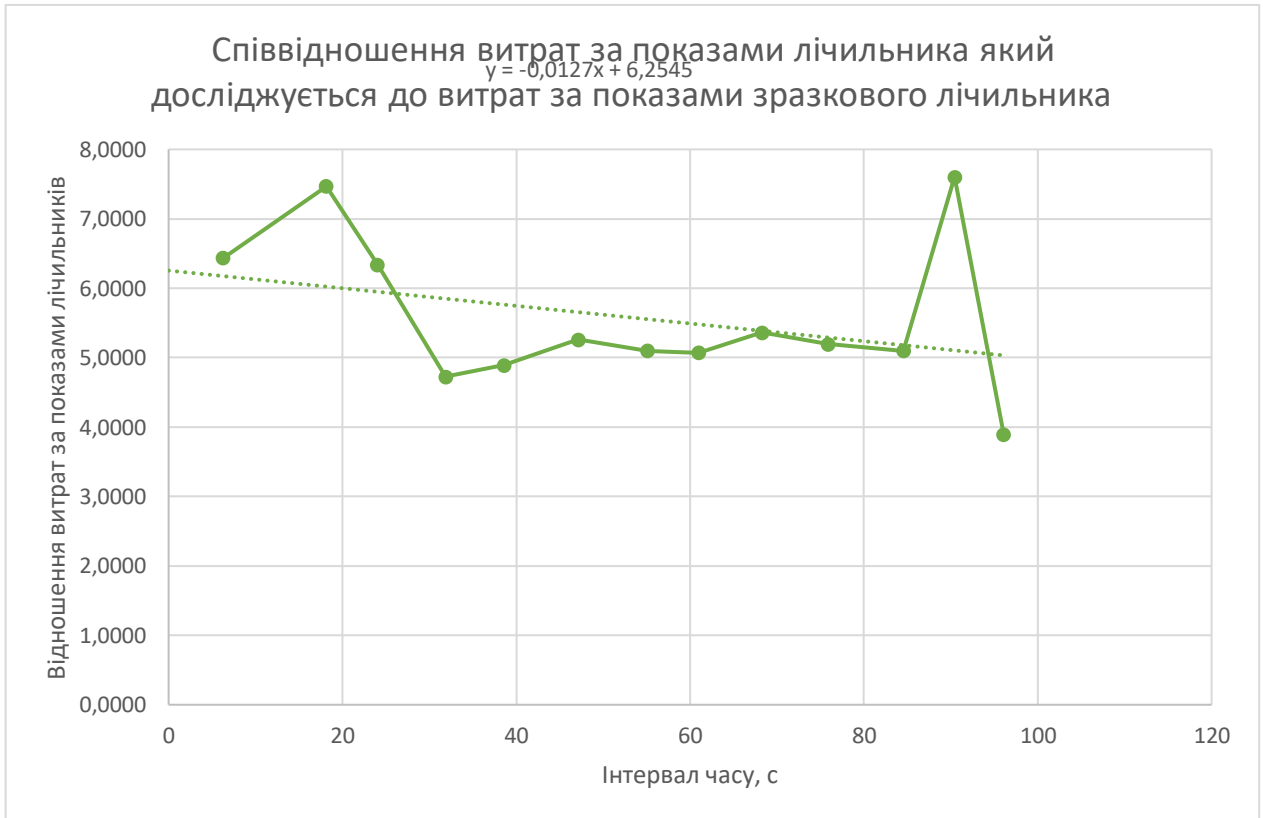
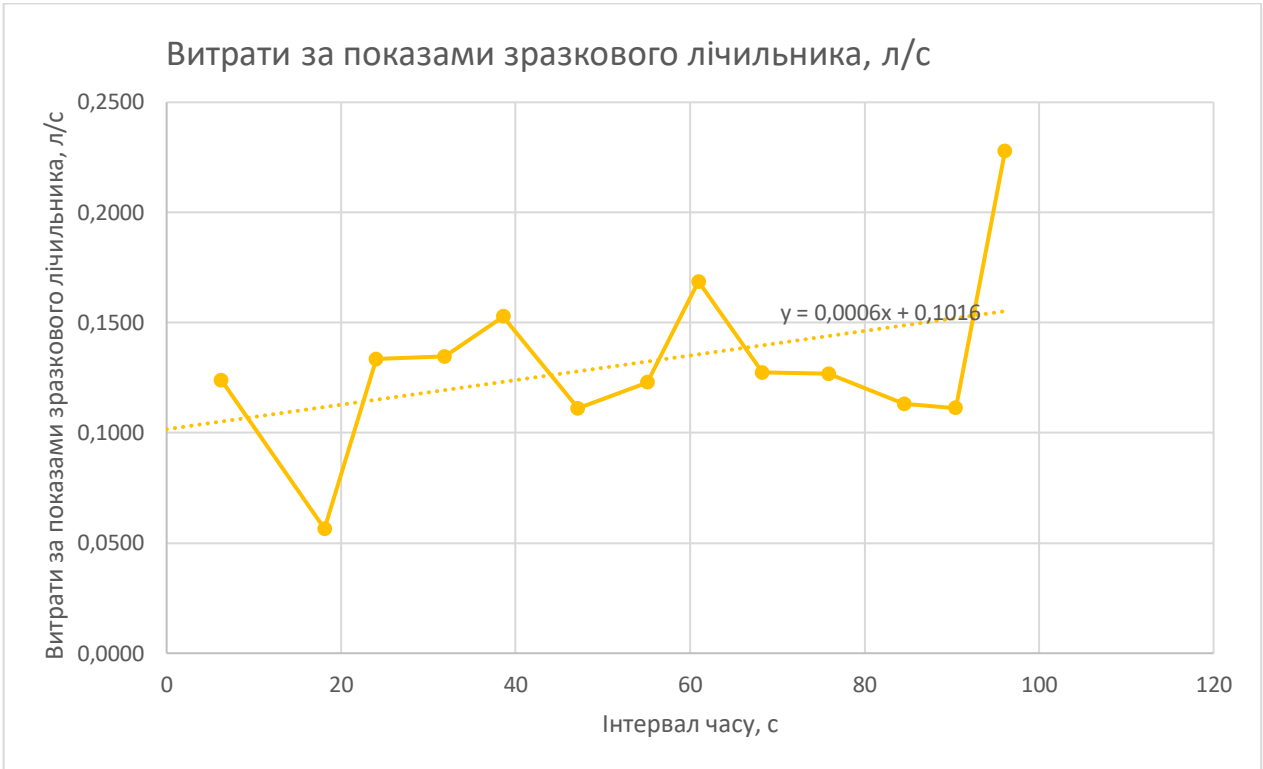


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

Арк.

125



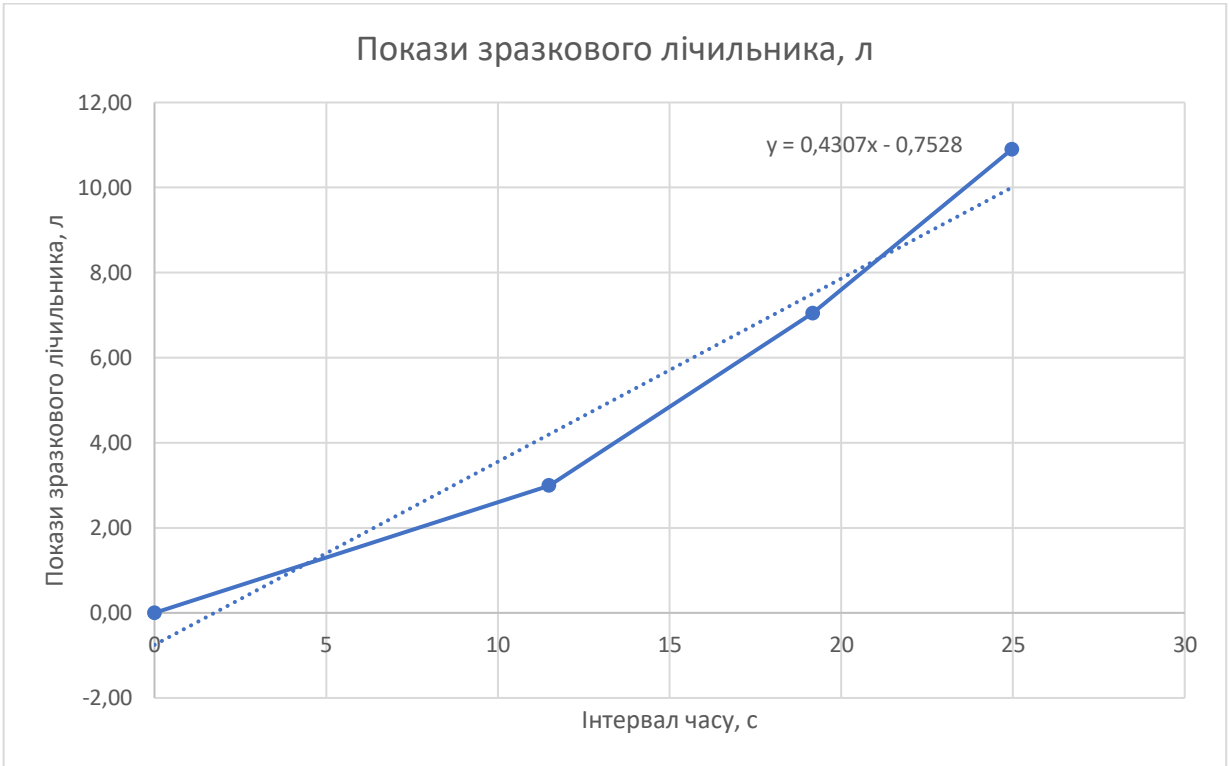
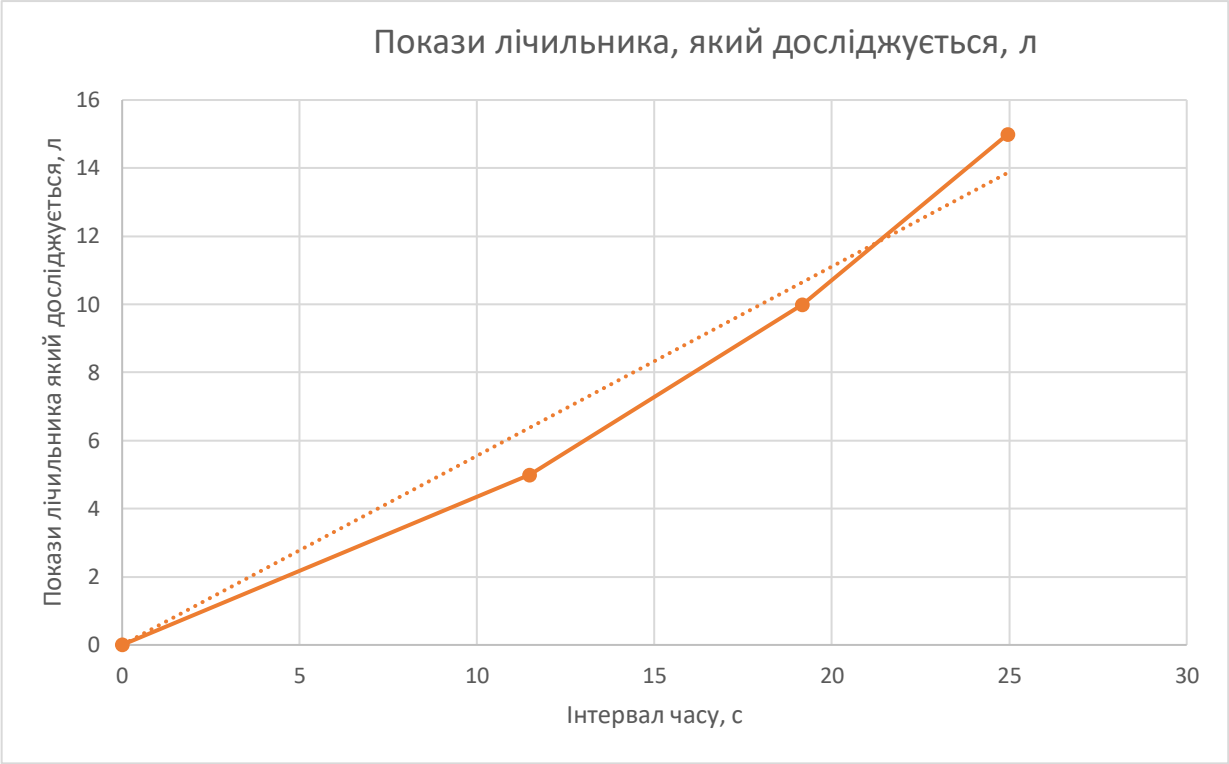
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

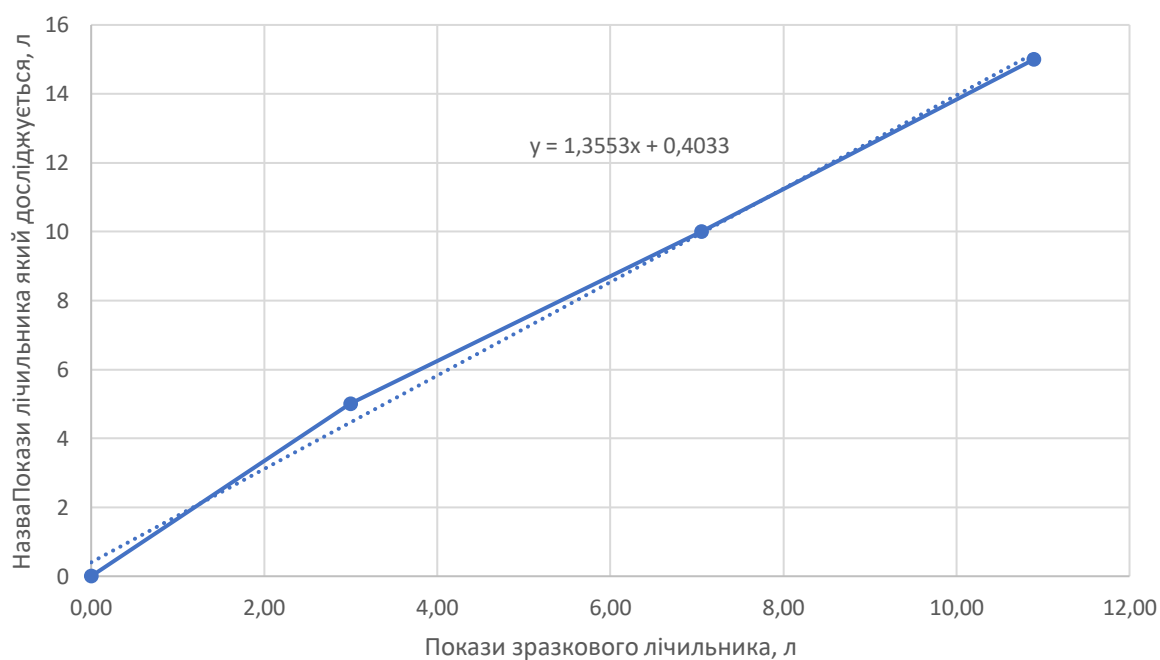
Арк.

126

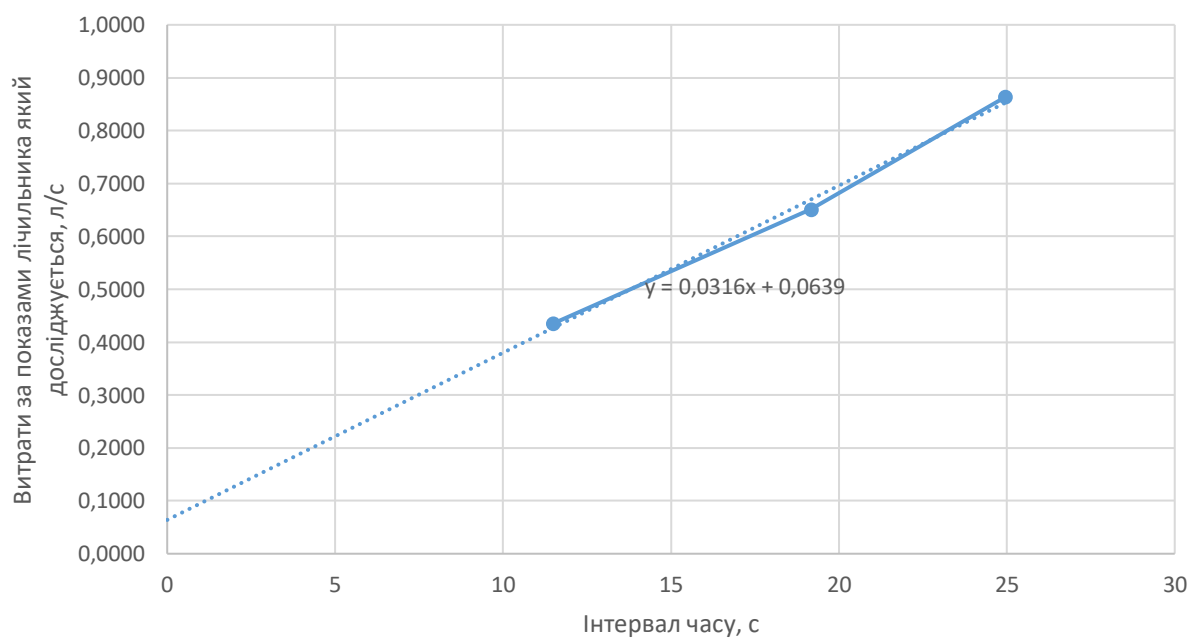
Діаметр умовного проходу 54 мм



Співвідношення показів лічильника який досліджується (л)
та зразкового лічильника (л)



Витрати за показами лічильника який досліджується, л/с



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МД.ПЗ

Арк.

128

